Eine empirische Untersuchung über den Zusammenhang zwischen der Komplexität chemischer Versuchsaufbauten und deren Bevorzugung durch Schüler der Sekundarstufe I

Rolf Sander

Dortmund 1982

Eine empirische Untersuchung über den Zusammenhang zwischen der Komplexität chemischer Versuchsaufbauten und deren Bevorzugung durch Schüler der Sekundarstufe I

vorgelegt von
Dipl.Päd. Rolf Sander

als DISSERTATION zur Erlangung des Grades eines Doktors der Erziehungswissenschaften (Dr.paed.) vom Promotionsausschuß der Abteilungen 12 - 16 der Universität Dortmund für das Fach Didaktik der Chemie angenommen.

Dortmund
1981

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

1. Gutachter: Prof. Dr. Schmidkunz
2. Gutachter: Prof. Dr. Hartke
Tag der mündlichen Prüfung: 21.4.1982

		S.
1.	Einleitung	1
1.1	Theorien Der Wahrnehmung	1
1.1.1	Empfindung und Wahrnehmung	1
1.1.2	Nativismus und Empirizismus	2
1.1.3	Die Kriterientheorie	4
1.1.4	Die Gestalttheorie	5
1.2	Informationstheoretische Grundlagen der Wahrnehmung	7
1.3	Wahrnehmung und ästhetischer Wert	9
2.	Aspekte der Wahrnehmung und des Lernens durch Bilder	12
2.1	Erklärungsmodelle für visuelles Lernen	12
2.2	Kapazitätsgrenzen bei der Verarbeitung visueller Informationen	14
2.3	Der Stellenwert der Redundanz bei der Verarbeitung von Informationen	15
2.4	Der Informationsgehalt von Bildern	16
3.	Experimente im Chemieunterricht	18
3.1	Allgemeines	18
3.2	Das Demonstrationsexperiment	18
3.3	Die Projektion chemischer Experimente	19
4.	Wahrnehmungselemente und ihre Bedeutung für die Gestaltung chemischer Experimente	22
4.1	Links - Rechts	22
4.2	Oben - Unten	23
4.3	Die Gestaltgesetze	24
4.3.1	Figur - Grund	24
4.3.2	Linien	25
4.3.3	Gesetze - Gruppierungen	26
4.4	Die Gestaltung von Demonstrationsexperimenten	35
4.5	Die Gestaltung gezeichneter Experimente	39
4.6	Komplexität in Darstellungen	41
4.6.1	Gestaltpsychologie und Komplexität	41
4.6.2	Der Ansatz von Berlyne	43
4.6.3	Untersuchungen über die Bevorzugung unterschiedlicher Komplexitätsgrade in Darstellungen	45

4.6.3.1	Reale Objekte	45
4.6.3.2	Zeichnungen - Muster	45
4.6.3.2.1	Zusammenfassung	47
5.	Beschreibung der Versuchsdurchführung zur Messung der individuellen Bevorzugung	49
5.1	Fragestellung	49
5.2	Auswahl der Experimente	50
5.3	Die Gestaltung der Experimente unter Berücksichtigung unterschiedlicher Komplexitätsgrade	50
5.3.1	Die Demonstrationsexperimente	50
5.3.2	Die gezeichneten Experimente	58
5.4	Entwicklungspsychologische Aspekte der Wahrnehmungsfähigkeit	62
5.5	Besondere Bedingungen der Versuchsdurchführung	68
5.5.1	Die Präsentation der Demonstrationsexperimente	68
5.5.2	Die Präsentation der gezeichneten Experimente	69
6.	Darstellung und Auswertung der individuellen Bevorzugungen	71
6.1	Tabellarische Darstellung der individuellen Bevorzugungen	71
6.2	Feststellung der Präferenzen	76
6.3	Vergleich verschiedener Gruppen	91
6.3.1	Vergleich verschiedener Altersstufen	95
6.3.2	Vergleich Jungen - Mädchen	100
6.3.3	Vergleich Hauptschule - Gymnasium	103
6.4	Schätzer und Konfidenzintervalle für die Präferenzen P_A, P_B und P_C	106
6.5	Zusammenfassung der statistischen Ergebnisse	117
7.	Interpretation	119
8.	Literaturverzeichnis	122

1. Einleitung

1.1 Theorien der Wahrnehmung

1.1.1 Empfindung und Wahrnehmung

Unterschiedliche Empfindungen, die auf uns einwirken, werden durch die Wahrnehmung zu einer Einheit zusammengefaßt und vermitteln uns Erlebnisse. Alles weitere Erleben sind Möglichkeiten der Verknüpfung, Ordnung und Zusammenfassung zu Gegenständen und Ereignissen. Licht innerhalb unseres Auges kann uns Farbe vermitteln, aber keine Gegenstände. Das Produkt einer intellektuellen Fähigkeit, die als Wahrnehmung bezeichnet wird, sind Gegenstände.

Diese Beschreibungsweise ist eine Theorie, die seit langer Zeit gebräuchlich ist. Sie entspricht in einem umfangreichen Maße nicht mehr den Ergebnissen der psychologischen Forschung.

Gegen Ende des 17.Jahrhunderts wurde von John Locke (11) die Theorie vertreten, daß das Wissen des Menschen durch die Sinne käme und aus sonst keiner anderen Quelle. Daraus ergibt sich die Schlußfolgerung, daß jeder Mensch für sich seine Bewußtseinsinhalte erwerben und ihre Richtigkeit beurteilen kann. John Locke verlieh dieser Lehre besondere Bedeutung. Der Lehrvorgang wurde somit Schwerpunkt der Forschung. Die Gelehrten stießen dabei auf eine Schwierigkeit: Sie erkannten, daß der Gesichtssinn zur Erklärung alles visuellen Erkennens nicht ausreicht. Das hätte zur Folge, daß einige Erkenntnisse entweder durch die Sinne oder aber durch den Verstand ergänzt werden. Die Welt muß also aus den 'Rohwerten', die an das Bewußtsein geliefert werden, konstruiert werden. Dieses Konstruieren könnte auf Assoziation und Schließen beruhen, aber auch auf einem intuitiven Verstehen der Sinnesangaben. Letzteres wäre ein Rückgriff auf die Lehre von den angeborenen Ideen. Für die Wahrnehmungstheorie bildet bis heute dieses Argument eine wissenschaftliche Grundlage.

Die räumliche Erfassung von Gegenständen und Gegebenheiten machte im verstärkten Maße die Erarbeitung einer genauen Erklärung

für die Wahrnehmung problematisch. Somit wurde die Frage aufgeworfen: Wie ist es dem Menschen möglich, die 'wirkliche' Welt im Unterschied von der Sinneswelt zu erfassen ? Die Beschreibung verschiedener Kriterien für die sichtbare Realität brachte nur Teilergebnisse. Für Entfernung und räumliche Tiefe von Gegenstän - den schien es keine Erklärungsmöglichkeiten zu geben. Unter den Philosophen entbrannte ein Streit darüber, ob und wie wir an eine externe Welt glauben können. Waren Festigkeit und Entfernung von Gegenständen Schöpfungen oder Konstruktionen des Verstandes ?

Bis heute ist man der Ansicht, daß ein Perzept nur unvollständig durch einen physikalischen Reiz determiniert wird. Die Wahrnehmung geht über die Reize hinaus und überlagert die Empfindungen. Empfindungen sind die Grundlage, die als Teile unserer organischen Ausstattung zwangsläufig für alle Menschen dieselben sind. Sekundär dagegen sind Wahrnehmungen. Sie können aufgrund unterschiedlicher Erfahrungen der Individuen variieren.

Bestätigung finden die meisten psychologischen experimentellen Befunde, wenn diese Wahrnehmungslehre auf Fähigkeiten, wie das Bedeutungserfassen (Sprachverständnis), angewendet wird. Weniger zufriedenstellend ist sie in der Erfassung materieller Gegenstände. Mit einer zu hohen Sicherheit und Präzision reagieren Menschen und Tiere auf räumliche Gegebenheiten. Keine Theorie der Raumwahrnehmung kann dafür eine befriedigende Erklärung liefern.

1.1.2 Nativismus und Empirizismus

Unter möglichst geringer Anteilnahme von Intuition oder angeborenen Ideen versuchten die Experimentalpsychologen des 19.Jahrhunderts die Wahrnehmung zu erklären. Die Philosophen dagegen betrachteten die Intuition als Grundlage des 'Bewußtseins selbst' oder aber als innewohnende Merkmale der Empfindungen. Die hierüber stattgefundene Auseinandersetzung wird als Nativismus und Empirizismus bezeichnet.

Am Anfang des 18.Jahrhunderts wurden von Isaac Newton astronomische und physikalische Sachverhalte zusammengeführt. Wie die

Welt beobachtet werden kann, wurde zwangsläufig als 'Das Problem' angesehen. Raumwahrnehmung war somit geometrische Raumwahrnehmung.

Nativisten und Empirizisten (11) unterteilten den Raum von Natur aus in bestimmte geometrische Kategorien. Die Bezeichnung Empirizismus ist eine Alternative sowohl zum Nativismus als auch zum Rationalismus. Empirizismus ist ein von den Gestaltpsychologen verwendeter Terminus. Das Charakteristikum des Raumes, ausgedehnt zu sein, wird unter der Kategorie Extensität zusammengefaßt. In der Geometrie entspricht das der Fläche zwischen horizontaler und vertikaler Achse. Die x- und y-Koordinate entspricht dem Aspekt des Ortes in zwei Dimensionen. Die Form im visuellen Feld geht mit den abstrakten Formen der griechischen Geometrie konform. Der Aspekt der räumlichen Tiefe oder Entfernung entspricht der dritten Dimension in der Geometrie. Die wesentlichen Bestandteile des sichtbaren Raumes sind Extensität, Ort, Form und Entfernung. Übereinstimmung zwischen den Nativisten und den Empirizisten bestand darin, daß die visuellen Empfindungen angeboren sind. Uneinig waren sie darin, ob Wahrnehmung eine Angelegenheit des Lernens oder der Intuition ist. Eine grundsätzliche Meinungsverschiedenheit bestand aber schon darin, was überhaupt empfunden und was wahrgenommen wird. Zu keiner Zeit hat jemand die räumliche Tiefe und Entfernung für Empfindungen gehalten. Ein Phänomen blieb die sichtbare dritte Dimension. Nur die Wahrnehmung konnte hier eine Erklärung liefern.

Der Raum, physikalisch betrachtet, besteht aus Punkten, deren Lage eindeutig durch die Cartesianischen Koordinaten festgelegt wird. Zur Erklärung des visuellen Feldes entwickelten die Psychologen hieraus eine 'Lokalzeichentheorie'.

Die Beschreibungsmöglichkeit für die Einzigartigkeit eines Punktes im visuellen Feld wird Lokalzeichen genannt. Ein Betrachter kann jeden Punkt lokalisieren oder örtlich bestimmen. Somit muß jeder ein eigenes Ortswertcharakteristikum besitzen. Darüber, ob dieses durch Erfahrung assoziiert oder von Geburt an intrinsisch gegeben, waren sich die Nativisten und Empirizisten uneinig.

Die Wahrnehmung erforderte für den empirizistisch eingestellten Psychologen zwei Theorien, nämlich die der geometrischen Flächenform und eine Theorie ihrer dreidimensionalen Erscheinung. Form erhielt somit die Bedeutung von projizierter Form. Jahrelang wurden Studien über gezeichnete Form vorgenommen. Als wenig aufschlußreich haben sich experimentelle Beweisführungen darüber herausgestellt, ob wir die Formwahrnehmung lernen müssen oder nicht. Weitere Forschungen ergaben, daß die Form von den anatomischen Netzhautpunkten des Bildes und von der Farbreizung der Punkte unabhängig ist. Form fällt weder unter die Kategorie 'Wahrnehmung' noch 'Empfindung'. Sie ist elementar und nicht reduzierbar; damit besitzt sie Gestaltqualität.

Die zweiäugige Abweichung des Netzhautbildes wurde durch die Erfindung und Anwendung des Stereoskops im Jahre 1833 durch Wheatstone experimentell bewiesen und sofort anerkannt. Sie ist bis heute die hauptsächliche Erklärung für dreidimensionales Sehen geblieben. Die Lehre von der intuitiven Erfassung des Raumes wurde damit sehr in Frage gestellt.

1.1.3 Die Kriterientheorie

Die Kriterien Konvergenz, Akkomodation und retinale Querdisparation sind nicht an die Existanz zweier Augen gebunden. Akkomodation wird monokular, Konvergenz und Breitenabweichung als binokular bezeichnet. Monokulare und binokulare Kriterien sind oft beschrieben, aber niemals systematisch untersucht worden. Die Kriterientheorie hat dazu durch experimentelle Untersuchungen einen Beitrag geleistet.

Durch Helmholtz (36) wurde die Kriterientheorie vervollständigt. Das Empfinden und Erkennen zweier verschiedener Dinge ist eine Grundvoraussetzung dieser Theorie. Das intelligente Bewußtsein, so vermutete man, verarbeitet Empfindungen so, wie es ein Mathematiker oder Logiker tun würde. Verfügbare Wertangaben werden kombiniert und kalkuliert und somit in einer entsprechenden Weise erfaßt.

Störende Implikationen zeigte die Theorie der Empfindungen als Wertangaben oder Kriterien der Wahrnehmung. Die elementaren Zu-

ordnungen von Empfindungen der Wahrnehmung konnten durch Elemente des Assoziationslernens nicht spezifiziert werden. Die Kriterientheorie konnte nur erläutern, wie wir uns Urteile über die Welt bilden. Wie wir die Welt sehen oder warum sie so aussieht, wie sie aussieht, konnte sie nicht verständlich machen. Derartige Einwände wurden auch in den zwanziger Jahren von den Gestaltpsychologen erhoben.

1.1.4 Die Gestalttheorie

Die Gestalttheorie geht nicht von der Annahme aus, daß Wahrnehmungen aus den vorliegenden Reizen oder aus der Summe der diesen Reizen angeblich entsprechenden Elementarempfindungen aufgebaut und erklärt werden können. Der Kerngedanke der Gestaltpsychologen ist, daß von vornherein auf der Seite des Wahrnehmenden etwas 'Eigenes' vorhanden ist. Dieses 'Eigene' ist die Subjektivität des Wahrnehmenden, die darin besteht, nach 'subjektiven Gesetzen' zusammenzufassen, zu gruppieren und damit Einheit, Ganzheit und Übersummativität des phänomenalen Effektes von Reizen erzeugt. Auf der physischen Seite dieses Vorganges sind diskrete, voneinander oft gänzlich unabhängige Eingangsprozesse vorhanden. Auf der anderen Seite (gegliederte Wahrnehmung) liegt eine, eine Einheit bildende, vom jeweiligen Hintergrund abgesonderte, mehr oder weniger durchstrukturierte Wahrnehmung vor, die dazu noch - im praktischen Sinn - 'gegenstandsgerecht' ist. Die Regeln herauszufinden, die zwischen der physischen Seite und der gegliederten Wahrnehmung ablaufen, nach denen derartige 'eigenwillige' Einheiten in der Wahrnehmung zustandekommen, ist das Hauptanliegen der gestaltpsychologischen Forschung.

Indem die Gestaltpsychologen die Organisationsinstanz als ein psychophysisches Substrat mit 'Feld'-Charakter darstellten (48), hatten sie ein Beschreibungs- und Erklärungsmodell für Aussonderungs- und Gruppierungsleistungen in der Wahrnehmung gefunden. Durch dieses Modell nahmen sie sowohl Abstand von starren physiologischen Mechanismen als auch von Denk- und Verarbeitungstheorien. Metzger (55) beschreibt in seinem Aufsatz das Feld als ein System untereinander kraftschlüssiger Teile. Damit sich in einem Feld selbst Ordnung (z.B. im Sinne von Gleichgewicht) einstellt, bedarf es we-

der einer Beeinflussung von außen, noch ist der Weg zur Ordnung starr vorgegeben. Köhler (47, S.89) führt dazu zwei Beispiele an: Das Feld ist so unabhängig wie die Sterne am Himmel, und doch sehen wir Stern-'Bilder'. Als weiteres Beispiel weist er an dieser Stelle auf das Klopfen hin. Auch dabei erfassen wir den Rhythmus. Da diese Einzelreize physikalisch in keinem Zusammenhang stehen, liegt der Schluß nahe, daß im Wahrnehmenden selbst eine organisierende Instanz tätig ist. Die Gestaltpsychologen stellten die Methode des Forschens nicht grundsätzlich in Frage, als sie Aufklärung darüber erlangen wollten, nach welchen Gesetzen solche physikalisch nicht gerechtfertigten Wahrnehmungsgruppierungen entstehen. Von den Gestaltpsychologen wurden Reize von jetzt ab als 'Störungen' angesehen. Diese 'Störungen' gelangen über verschiedene Rezeptoren auf ein vorhandenes, in sich selbst organisiertes System. Eine Folge dieser 'Störungen' ist die Wahrnehmung. Diese gibt somit auch Aufschluß über die innere Struktur der Dynamik des Feldes. Köhler (46) hat diesen Ansatz methodisch am konsequentesten verfolgt. Das Auffinden und Beschreiben von Gestaltgesetzen war für ihn immer der erste wichtige Schritt, dem sich als nächster die Erklärung anschloß.

Eine erste ganzheitliche Wahrnehmungsorganisation ist die Aufspaltung in Figur und Grund. Erst danach können Wahrnehmungstendenzen wirksam werden, wie z.B. das Gesetz der Nähe, der Umschlossenheit, der Ähnlichkeit, der Symmetrie, der guten Gestalt usw. Eine ausführliche und anschauliche Darstellung der Gesetze findet man bei Metzger (54). In einem geschichtlichen Überblick kommt Helson (37) auf über hundert nachgewiesene Gestaltgesetze.

Auch heute noch wissen wir sehr wenig über die vorgegebene Eigenart der psychophysischen Organisation. Es ist im Rahmen der Gestaltpsychologie meist beim Sammeln von Gestaltgesetzen und -tendenzen geblieben. Die Gestalttheorie ist keine neue Wahrnehmungstheorie, sie stellt vielmehr ein weiteres und beweglicheres Denkmodell dar, das vielleicht einmal zu einer umfassenden Wahrnehmungstheorie führen könnte.

1.2 Informationstheoretische Grundlagen der Wahrnehmung

Der Ansatz der Gestaltpsychologie ist von Forschern aufgegriffen und weitergeführt worden, die sich mit der Informationsästhetik beschäftigen. Sie fassen das Kunstwerk als Information auf. Sie verwenden den Begriff Information nicht umgangssprachlich, sondern bei ihnen wird er zu einer meßbaren Größe. Die Maßeinheit der Information ist das bit (binary digit), mit der jede Informationsmenge eines Kunstwerkes, einer Darstellung bzw. jeder Nachricht bestimmt werden kann. Die bit-Zahl gibt an, wieviele Entscheidungen vom Typus 'Ja-Nein' (Binärentscheidungen) für eine gegebene Information nötig sind. Auch die relative Auftretenshäufigkeit eines Zeichens muß berücksichtigt werden, um den Informationswert, den ein Zeichen für eine gegebene Zeichenmenge hat, genau berechnen zu können. Eine ausführliche Abhandlung über die Berechnungsformel für die Informationsmenge findet man bei Steinbuch (75).

Die wichtige Unterscheidung zwischen Information und Bedeutung wurde in dem bisher geschilderten Zusammenhang noch nicht angesprochen. Eine berechnete Informationsmenge stellt lediglich eine zahlenmäßig ausgedrückte Größe dar. Diese enthält noch keine Aussage über die Bedeutung der Information. Bei der Betrachtung von Kunstwerken, Zeichnungen, Bildern usw. unter informationstheoretischen Gesichtspunkten geht es nicht darum, was abgebildet ist, sondern um die Informationseigenschaften der Gruppierungen von Farbe und Form, der Liniendichte, Linienführung usw. Informationstheoretische Prinzipien lassen sich bevorzugt dort anwenden, wo in der Darstellung auf bestimmte Inhalte verzichtet wird, das heißt bevorzugt in ungegenständlichen Darstellungen.

In der Psychologie der menschlichen Wahrnehmung besitzt die Information einen hohen Stellenwert. Mit unseren Sinnesorganen nehmen wir Informationen aus der Umwelt auf, die dann in Nervenbahnen kodiert und dem Gehirn weitergeleitet werden, wo sehr komplexe Prozesse der Informationsverarbeitung stattfinden. Daß ein Mindestmaß an Stimulation und Information für ein normales Funktionieren der Denkprozesse notwendig ist, zeigte Heron (38) in seinem Experiment hierzu. Wir sind aber auch nicht in der Lage, belie-

big viele Informationen aufzunehmen. Frank (22) hat Schätzungen darüber angestellt, wieviel Informationen Menschen aufnehmen können und wieviel Information bewußt verarbeitet werden kann. Dabei greift er auf ein bewährtes Modell des Gedächtnisses zurück. In der Lernpsychologie, vergleiche z.B. Rohracher (66), unterscheidet man zwischen einem Kurzzeitgedächtnis und einem Langzeitgedächtnis. Im Kurzzeitgedächtnis wird die Information nicht länger als ca. zehn Sekunden festgehalten. Franke (23) stellt die Hypothese auf, daß die Reizangebote, die optimal zu den Informationsverarbeitungsmechanismen des menschlichen Gehirns passen, Wohlgefallen auslösen. Das heißt, Darstellungen, die sich bei 16 bit pro Sekunde erkennen lassen, werden von einem Betrachter als angenehm empfunden. Bei einem Zuviel oder Zuwenig an Information tritt Überforderung oder Langeweile ein.

Da die menschliche Wahrnehmung kein passiver Vorgang ist, kann durch Organisation der angebotenen Reizobjekte die Information reduziert und somit die Informationsmenge verringert werden. Die Informationstheoretiker nennen diesen Vorgang 'Superzeichenbildung'. Durch die Superzeichenbildung ist der Mensch in der Lage, den außerordentlich hohen Informationszufluß der visuellen Wahrnehmung so zu reduzieren, daß durch ständiges Absuchen seiner Umwelt auf Regelmäßigkeiten für ihn wesentliche Elemente und Strukturen erhalten bleiben. So werden aus einem Bild nicht nur 'Bilder' herausgelöst, sondern auch an mehr oder weniger gleichmäßigen Folgen von Zeichen werden Organisationsmuster angelegt. Strategien solcher Informationsreduktion unterliegen gestaltpsychologischen Einflüssen. Die Gestaltpsychologie geht von der Annahme aus, daß Wahrgenommenes nach bestimmten Gesetzen zu Konfigurationen zusammengefaßt wird. Die Zusammenfassung erfolgt nach dem 'Prägnanzsatz', der besagt, daß Konfigurationen die Tendenz besitzen, so klar, deutlich und stabil wie möglich zu erscheinen. Eine Vereinfachung und somit eine Informationsreduktion ist möglich, wenn Teile der Reizfigur unter den Gestaltfaktoren der Geschlossenheit, der Gleichheit, der Nähe, der Kontinuität usw. zu einem einheitlichen Ganzen vereinigt werden, Wertheimer (82). Aus Untersuchungen von Hochberg/Hardy (40) und Krech/Calvin (50) geht hervor, daß die Gestaltgesetze der relativen Größe,

der Nähe und der Geschlossenheit einer quantitativen Bestimmung zugänglich sind. Dagegen können andere Gestaltgesetze, die von gleicher oder größerer Wichtigkeit sind, sehr gut intuitiv erfaßt, aber äußerst schwer objektiv und meßbar veranschaulicht werden. Die objektive und quantitative Messung von Gestaltfaktoren ist das zur Zeit interessanteste Problem in der Wahrnehmungsforschung. Die Forschung befindet sich hier noch in den Anfängen.

Aus vielen Alltagsbeobachtungen wissen wir, daß es sowohl für Kinder als auch für Erwachsene sehr angenehm ist, wenn es ihnen gelingt, ein zunächst ungeordnet erscheinendes visuelles Objekt in eine feste Ordnung zu bringen. Unter wahrnehmungspsychologischen und informationstheoretischen Gesichtspunkten sollten bei visuellen Darstellungen folgende Punkte berücksichtigt werden:
Sie dürfen die Informationsverarbeitungskapazität des Menschen nicht überschreiten.

Sie dürfen die Informationsverarbeitungskapazität nicht wesentlich unterschreiten.

Die Darstellung sollte Informationsreduktion anbieten.

1.3 Wahrnehmung und ästhetischer Wert

Das Problem, den ästhetischen Wert von Darstellungen zu objektivieren, wurde schon im Jahr 1932 von Birkhoff (10) aufgegriffen. In seinem Ansatz setzt er die Ordnung (O) und die Komplexität (C) einer Darstellung in ein bestimmtes Verhältnis, so daß sich daraus das ästhetische Maß (M) ergibt. Die Beziehung, die er zwischen O und C aufstellt, lautet:
$M = \frac{O}{C}$. Die Ordnung (O) wird dabei durch die Anzahl gleicher Elemente in einer Anordnung definiert, die Komplexität (C) durch die Menge unterscheidbarer Elemente. Der ästhetische Wert (M) einer Darstellung steigt, wenn

1. bei konstanter Komplexität die Anzahl gleicher Elemente in einer Anordnung zunimmt,
2. bei konstanter Ordnung die Anzahl unterscheidbarer Elemente abnimmt.

Je größer M, desto angenehmer wird das Objekt empfunden. Andere Autoren, wie z.B. Osborne (59), konnten in eigenen Untersuchungen den Ansatz von Birkhoff nicht bestätigen. In seinen Untersuchungen stellte Osborne fest, daß die Bilder, die komplexer waren, in ihrem ästhetischen Wert höher eingeschätzt wurden. Diese empirisch belegte Feststellung bestätigt eher die von Eysenck (21) aufgestellte Formel zur Berechnung des ästhetischen Wertes. Bei ihm ergibt sich der ästhetische Wert einer Darstellung aus dem Produkt von Ordnung und Komplexität: M = O·C. M erhöht sich hierbei, wenn sowohl Ordnung (O) als auch Komplexität (C) zunehmen. Auch diese Formel hat sich empirisch nicht bestätigt (83).

Wird für das Maß M keine lineare monotone Funktion verwendet, sondern eine umgekehrte U-Funktion, so klären sich die bisher aufgezeigten Widersprüche auf. In der Psychologie findet man derartige Funktionen für viele Variablen. So läßt sich z.B. der Zusammenhang zwischen Angst und Leistung durch eine solche Funktion am besten beschreiben. Bei Dörner und Wehrs (17) findet man für die umgekehrt U-förmige Beziehung zwischen Komplexität und Wohlgefallen entsprechende Ausführungen.

Heckhausen (34) spricht sich grundsätzlich gegen eine informationstheoretische Berechnung elementarer Komplexität aus. Er schlägt den Begriff "phänomenale Komplexität" vor. Unter diesem Begriff faßt er die Anzahl möglicher Untergliederungen und möglicher Figur-Grund-Aufteilungen in einer Abbildung zusammen. Berlyne (8) verwendet das Konzept phänomenaler Komplexität, und seine Ergebnisse lassen sich in der Weise widerspruchsfrei interpretieren, daß eine erhöhte phänomenale Komplexität mit steigendem Wohlgefallen des Betrachters einhergeht. Überträgt man nun den Faktor der elementaren Komplexität auf diese U-förmige Beziehung, so ergibt sich daraus, daß bei erhöhter elementarer Komplexität in einer Darstellung die Menge möglicher Unterstrukturen wieder kleiner wird. Und zwar deswegen, weil in der Anordnung der in einer Darstellung enthaltenen Elemente keine informationsreduzierenden Regelmäßigkeiten auftauchen. Gestützt auf seine umfangreichen Untersuchungen schlägt auch Raab (63, S.1o5) diese Interpretation vor. Einen Teil seiner Ergebnisse faßt er in dem Satz zusammen: "Komplexer im Sinne einer perzeptiven Re-

levanz sind nicht so sehr jene Muster, die einen höheren absoluten Informationsgehalt (in bit) besitzen, sondern vielmehr jene, welche, bezogen auf den bei gegebenen absoluten Informationsgehalt möglichen, über einen besonderen Detailreichtum in zusammenhängenden 'Figur'-Feldern und/oder über sehr viele aus mehreren Einzelelementen bestehende Teilfiguren verfügen".

Ganz anders wird in einer neueren Arbeit von Frith und Nias (25), die die U-förmige Beziehung zwischen Komplexität und subjektivem ästhetischem Empfinden aufgegriffen haben, diese Beziehung interpretiert. Sie zeigten ihren Versuchspersonen sogenannte Computerbilder. Diese unterschieden sich in vorberechneter Weise systematisch in der Informationsmenge, im Ausmaß der Symmetrie und in der Anzahl der Kantenelemente. Die Ergebnisse zeigen, daß die Versuchspersonen die einfachsten Bilder bevorzugten, wenn die Menge der Kantenelemente konstant gehalten wurde. Sonst wurde immer das Bild bevorzugt, das die größere Menge Kantenelemente aufwies. Die Bevorzugung mittlerer Komplexität in anderen Untersuchungen erklären die Autoren damit, daß mit steigender Kantenzahl in der Regel auch die Komplexität steigt. Diese von ihnen aufgestellte Hypothese verdient aus dem Grund erhöhte Beachtung, weil in physiologischen Experimenten gezeigt wurde, daß die höheren Säugetiere Linien aus dem Sehfeld aktiv extrahieren. Sie besitzen auch Nervenzellen, die immer nur dann elektrische Phänomene zeigen, wenn im Sehfeld vertikale oder horizontale Linien auftauchen. Alle bisherigen Ansätze und Untersuchungen bemühten sich um die Beantwortung der Frage, inwieweit für alle Menschen allgemeine Regeln gelten, die die ästhetische Wirkung von Darstellungen erklären können.

Es kann folgende allgemeine Regel aufgestellt werden:
Jedes ästhetische Objekt muß eine gewisse Ordnung aufweisen, die weder zu einfach noch zu komplex sein darf. Das ästhetische Objekt muß Prozesse der Informationsreduktion ermöglichen.

2. Aspekte der Wahrnehmung und des Lernens durch Bilder

2.1 Erklärungsmodelle für visuelles Lernen

Die visuelle Informationsvermittlung erfolgt nicht nur durch Bilder, sondern auch durch alle anderen Demonstrationsmittel. Schriftzeichen und Zahlen werden in der weiteren Betrachtung ausgeklammert.

E.J.Gibson (28) ist ein Vertreter der Reiz-(Stimulus)orientierten Richtung. Ihr Kriterium für Wahrnehmungslernen ist, daß bei gegebener Reizsituation eine Zunahme der Unterscheidung der zu verarbeitenden Informationen stattfindet. Sie geht weder von der Annahme aus, noch hält sie es für ein entscheidendes Kriterium, daß stets Reaktionen gelernt werden müssen. Nach ihrer Auffassung von Wahrnehmungslernen werden primär folgende Merkmale gelernt:

1) Merkmale von Objekten
   Hierzu gehört z.B. die Entwicklung der Wahrnehmung von Gesichtern. Näheres dazu bei Ahrens (1).

2) Konstanz von Ereignissen
   Wahrnehmungskonstanz wird gelernt, wenn man Erfahrungen mit Objekten macht, die sich in der Zeit verändern, aber dennoch mit sich selbst identisch bleiben. Dazu gehören Größen-, Mengen-, Formenkonstanz und Kausalität. Dieser Aspekt der Wahrnehmungsentwicklung wurde soeziell von Piaget (60) untersucht.

3) Strukturen höherer Ordnung
   Zwischen den Einzelmerkmalen eines Objektes können Beziehungen höherer Ordnung, wie z.B. Regelmäßigkeit und Symmetrie, bestehen.

Die Gibsonschen Prinzipien des Wahrnehmungslernens lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

1) Wahrnehmungslernen ist ein Prozeß der Reduktion und nicht der Assoziation (Filterprozeß).

2) Die Prozesse beim Wahrnehmungslernen werden aktiv vollzogen. Sie stellen ein Elementarbedürfnis dar, nämlich Unsicherheit in der Orientierung durch Gewißheit zu ersetzen.

3) Für den Einsatz visueller Materialien in Unterrichtsprozessen sollte nach Gibson (28) folgendes beachtet werden:
- visuelle Materialien müssen in Einheiten von Wahrnehmungsinhalten zergliedert werden können;
- in Unterrichtsprozessen ist die Entwicklung von Beobachtungsstrategien zu fördern.

Ein weiteres theoretisches Konzept visuellen Lernens wurde von Gropper (31) entwickelt. Gropper ist ein Vertreter derjenigen behavioristischen Position, die davon ausgeht, daß jede Form des Lernens nach gleichem Muster abläuft. Für das Wahrnehmungslernen sind daher auch keine Zusatzannahmen erforderlich.

Zwei verwechselbare visuelle Reizmuster erwerben Eindeutigkeit durch Assoziation von verschiedenen und eindeutigen Reaktionen (Diskriminierungslernen). Unterschiedliche Reize können aber auch mit identischen Reaktionen assoziiert werden. Als Wahrnehmungssumme kann in diesem Fall Ähnlichkeit, Transfer bzw. Generalisierung angesehen werden. Die Entstehung derartiger Assoziationen wird durch Verstärker vermittelt. In Abgrenzung zu Gibson (28) ergeben sich folgende Prinzipien:

1) Wie jedes andere Lernen ist Wahrnehmungslernen ein funktionaler Prozeß zum Erwerb adäquater Verhaltensweisen. Als Gegenstand von Lernprozessen spielt das Wahrnehmungslernen selbst keine Rolle.

2) Wahrnehmungslernen ist stets ein Prozeß der Assoziation (Reizmuster werden mit Reaktionen assoziiert). Als prinzipiell gleichwertig werden dabei sogenannte offene Reaktionen (Antworten, Handlungen) und sogenannte verdeckte Reaktionen (keine Äußerung des Lernenden) angesehen. Da nur die offenen Reaktionen kontrollierbar sind, wird ihnen in formalisierten Lernprozessen der Vorzug gegeben.

3) Um solche Assoziationen zu stiften, ist die Verstärkung der entscheidende Mechanismus.

Abgesehen von den unterschiedlichen theoretischen Ansätzen, die wohl nie empirisch zugunsten der einen oder anderen Position entschieden werden können, könnte man die folgenden Forderungen aus

den Modellen ableiten:

- Unterrichtssituationen sind so zu gestalten, daß Schüler beobachten lernen können.
- Unterrichtssituationen sind so zu gestalten, daß Schüler auf visuelle Reize die richtige Reaktion möglichst schnell erwerben.

2.2 Kapazitätsgrenzen bei der Verarbeitung visueller Informationen

Die Kapazitätsgrenzen bei der Verarbeitung von Informationen differieren sehr stark bei den verschiedenen Sinnesmodalitäten. Von den zahlreichen Untersuchungen über die begrenzte Verarbeitungskapazität des visuellen Wahrnehmungssystems soll hier nur die bekannte Arbeit von Miller (56) herangezogen werden. Seine Untersuchungen ergaben, daß der Mensch in der Lage ist, etwa 7 ± 2 Einzelheiten wahrzunehmen. Das heißt, er kann bei vertrauten Objekten ihre Anzahl und ihre Namen angeben, ebenso kann er sie unmittelbar im Gedächtnis speichern. Dieser Grundsatz gilt nur als Anhaltspunkt, zuverlässiger sind normalerweise fünf Einzelheiten. Wobei hier noch das Problem auftaucht, den Begriff Einzelheit zu definieren. Da es sich hierbei um keine feststehende Größe handelt, kann es sich um eine Zahl, einen Buchstaben, Linien, eine geometrische Figur usw. handeln. Arnheim (2 , S.35 ff) weist darauf hin, daß der Beobachter den visuellen Gesamtbereich in der Weise aufteilt, wie es seine Erfahrungen, Interessen, Bedürfnisse und die visuelle Gesamtsituation selbst erlauben. Enthält die visuelle Gesamtsituation bereits eine erkennbare Struktur oder Gliederung, so hat der Wahrnehmende weniger Arbeit (Selektionsmechanismen) und kann die Situation leichter verarbeiten. Derartige Struktur- und Gliederungsfaktoren sind gerade Linien und regelmäßige Umrisse, Nähe, Geschlossenheit und Symmetrie. Battig (5) versuchte derartige Faktoren auszuschalten, indem er die Reihenfolge des Dargebotenen immer wieder variierte. Es zeigte sich aber, daß die Versuchspersonen immer wieder Verschlüsselungs- oder Gruppierungsmethoden anwandten.

2.3 Der Stellenwert der Redundanz bei der Verarbeitung von Informationen

Redundant sind jene Teile einer Information, die zur Übermittlung und zum Verständnis einer Nachricht nicht notwendig sind. Für die Unterrichtspraxis besitzt die Redundanz einen hohen didaktischen Stellenwert. Beim audio-visuellen Unterricht wird in der Regel derselbe Lehrinhalt über zwei Sinneskanäle dargeboten. Hierbei gewährleistet die Redundanz eine Anpassung der Informationsmenge an unsere Verarbeitungskapazität. Der Begriff der Verarbeitungskapazität muß in diesem Zusammenhang genauer aufgeschlüsselt werden:

Lernen bedingt nicht nur die Wahrnehmung von Informationen sondern auch ihre Speicherung im Gedächtnis. Aus der Diskrepanz zwischen der Wahrnehmungskapazität und der Zuflußkapazität zum Gedächtnis ergibt sich die Notwendigkeit, den Unterrichtsstoff lerngerecht aufzuarbeiten. Weltner (80) gibt an, daß etwa nur 5 % der apperzipierten Information in das Gedächtnis eingespeichert wird. Nach Weltner läßt sich die während des Unterrichts wahrgenommene Information terminologisch auch in einen didaktischen und einen ästhetischen Anteil gliedern. Ziel des Unterrichts ist, den didaktischen Anteil in das Gedächtnis einzubringen. Dieses kann nur erreicht werden, wenn unter den genannten Aufnahmerestriktionen die ästhetische Information zur längeren Speicherung der didaktischen Information im Kurzzeitspeicher dient. Aufgrund der genannten Bedingungen wird der Lehrstoff länger invariant gehalten und kann in das Gedächtnis übergehen. Als unmittelbare Konsequenz daraus weist Weltner (80 ,S.100) auf die unterschiedliche Wirkung von Anschauungsmitteln und Bildern hin: "Bilder, Dias, Schnittmodelle, Versuchsanordnungen haben einen Informationswert, der erst bei längerer Betrachtung wahrgenommen werden kann" (vgl. dazu eine Untersuchung von Wucherpfennig und Rüster (86) über den Einfluß fertiger und im Unterricht entwickelter grafischer Darstellungen auf den Lernerfolg).

Der Autor betrachtet bildliche Darstellungen unter drei Aspekten, Weltner (80 ,S.100):

- "Die grafische Darstellung ist ein Kunstwerk. In diesem Fall interessieren die durch das Kunstwerk ausgelösten ästhetischen Prozesse sowie das Kunstwerk als Nachricht des Künstlers im Rahmen einer bestimmten künstlerischen Epoche.

- Die bildliche Darstellung ist eine gegenständliche Darstellung von Geräten, Situationen, Konfigurationen oder Personen, die der unmittelbaren Betrachtung verborgen oder unzugänglich sind.
- Die Darstellung ist die Kodierung einer Bedeutung, die grafisch übersichtlich oder eindeutig darstellbar ist; Kennlinien, Schaubilder, Diagramme".

2.4 Der Informationsgehalt von Bildern

Im Zusammenhang über Redundanzuntersuchungen bei der Bildwahrnehmung treten erhebliche Schwierigkeiten auf, weil Bilder im Gegensatz zu Texten nicht zeilenweise, sondern ganzheitlich wahrgenommen werden. In den letzten Jahren sind die Probleme der Bildwahrnehmung durch Termini der Informationstheorie neu formuliert worden. Die wichtigsten Konzepte sind 'Ungewißheit' und 'Redundanz'. Wie groß die Informationsmenge ist, die jeder Perzept übermitteln wird, ist abhängig von seiner 'Ungewißheit', das heißt von der Zahl aller möglichen Alternativen, die wahrgenommen werden können. Werden aber nun den verschiedenen 'Aspekten' des Rezeptors gleichartige Informationen übermittelt, so bezeichnet man diese Information als redundant. Eine ausführliche Gesamtdarstellung des Themas findet man bei Garner (27).

Redundante Formeigenschaften liegen z.B. bei achsensymmetrischen Figuren vor, da die eine Hälfte der Figur identisch ist mit der anderen. Ebenso enthält jede in Farbe und Helligkeit homogene Fläche redundante Informationen, ebenfalls jede in Richtung und Form konsistente Kontur, Attneave (4). Andererseits enthalten nicht-redundante Informationen Ecken oder Kanten, an denen Farbe oder Helligkeit sich abrupt ändern, sowie Punkte einer Kontur, an denen sich die Richtung ändert.

Eine gute Gestalt ist durch ein hohes Maß an innerer Redundanz gekennzeichnet. Je besser die Gestalt, desto kleiner ist die Informationsmenge, die zu ihrer Identifizierung notwendig ist. Dabei verringert nicht nur die Symmetrie, sondern auch Prägnanz, Kontinuität und Ähnlichkeit der Teile in einer Darstellung die Unsicherheit. Wie Heckhausen (34) gezeigt hat, bestehen erheb-

liche Schwierigkeiten, derartige Muster ausschließlich mit Termini der Informationstheorie zu behandeln. Bei der Betrachtung eines Musters ist die Menge möglicher Alternativen sehr groß und somit auch die Redundanz jedes Objektes. Weiterhin lassen sich die Objekte nicht quantitativ differenzieren, wie es die Informationstheorie fordert, sondern sie variieren qualitativ.

3. Experimente im Chemieunterricht

3.1 Allgemeines

Die Erkenntnisfunktion des naturwissenschaftlichen Experimentes besitzt für die Gestaltung des Chemieunterrichts einen zentralen Stellenwert. Diese Tatsache berücksichtigen auch die meisten aus der fachdidaktischen Forschung hervorgegangenen naturwissenschaftlichen Unterrichtsverfahren. So zum Beispiel Fries-Rosenbergers Modell des "Forschenden Unterrichts" (24) und das von Schmidkunz-Lindemann entwickelte "Dortmunder Modell des forschend-entwickelnden Unterrichtsverfahrens" (73).

Dem Experiment kann aber erst dann eine sinnvolle Erkenntnisfunktion zugesprochen werden, wenn es einen integrierten Bestandteil eines didaktischen und sachgerechten Handlungsablaufes darstellt. Es hat dann die Aufgabe, entsprechend den Vorkenntnissen der Schüler, entweder ein erkanntes Problem induktiv zu lösen oder aber bezüglich der Problemlösung gestellte Prognosen der Schüler im deduktiven Sinne zu überprüfen. Ein solcher Prozeß, bei dem Erkenntnisse durch einen kombinierten theoretischen und experimentellen Handlungsablauf erworben werden, kann als experimenteller Erkenntnisprozeß bezeichnet werden (84). Neben der Gewinnung neuer Erkenntnisse und Einsichten werden die Schüler durch den Einsatz von Experimenten im Chemieunterricht zugleich mit den in den Naturwissenschaften gebräuchlichen Arbeitsverfahren und Methoden bekannt gemacht.

3.2 Das Demonstrationsexperiment

Mit dem Versuchsaufbau konstruiert der Lehrer das von den Schülern zu beobachtende Experiment. Eine wichtige Voraussetzung für eine sachgemäße Beobachtung ist, daß bei den Schülern die Einsicht in die Funktion der Einzelteile und deren Wirkungszusammenhänge vorhanden ist. Zusätzlich muß bei der Ausführung des Versuchsaufbaues berücksichtigt werden, daß die am Versuchsaufbau beteiligten Geräte so angeordnet werden, daß eine sachgerechte Visualisierung des darzustellenden experimentellen Ablaufes erreicht wird. Nur wenn man bei den Schülern die funktionale Einsicht voraussetzen kann und wenn ihnen durch die Gestaltung des Experimentes ein aktives Verständnis im Wahrnehmungsbereich ermöglicht wird, kann das Demonstrationsexperiment seine Erkenntnisfunktion im ganzen Umfang

erfüllen.

Weiterhin müssen Überlegungen über den didaktischen Ort des Demonstrationsexperimentes angestellt werden. Dabei ist es oft schwierig, eine formale Zuordnung zwischen Experiment und Unterrichtsprozeß in eindeutiger und homogener Weise zu treffen (32, S.152). So könnte z.B. unterschieden werden zwischen:
Problemversuch,
Bestätigungsversuch,
Erarbeitungsversuch sowie
Wiederholungs- und Übungsversuch.
Aber auch, siehe Schmidkunz/Lindemann (73, S.23-25), ist folgende Unterteilung möglich:
Weiterführendes Experiment,
Bestätigungsexperiment,
Einführungsexperiment,
Wiederholungsexperiment und
Anwendungsexperiment.

Unabhängig davon, welche didaktische Funktion dem Experiment zugewiesen wird, bedarf es einer dem Erkenntnisprozeß entsprechenden Artikulierung. Ohne sich hierbei auf ein Artikulationsschema zu beziehen, läßt sich der Erkenntnisprozeß für den experimentellen naturwissenschaftlichen Unterricht etwa folgendermaßen umschreiben:
Fragestellung oder Formulierung eines erkannten Problems,
Vermutung und Entwicklung von Problemlösemechanismen,
Entwurf und Bau einer Versuchseinrichtung als Teil der Problemlösung,
Beobachtung und Auswertung der Ergebnisse,
Darstellung und Deutung der Beobachtungsergebnisse sowie ihre Eingliederung in den Erkenntniszusammenhang.

Als eine Abfolge von Lehr- und Lernschritten darf dieser Gliederungsvorschlag nicht aufgefaßt werden. Die aufgeführten Strukturmomente des Erkenntnisprozesses sind in ständigem Bezug zu halten.

3.3 Die Projektion chemischer Experimente

"Auch während seiner Berufsausübung muß der Lehrer in die Lage versetzt werden, an den Fortschritten und Erkenntnissen der Wissen-

schaft in dem erforderlichen Umfang teilzunehmen und sie ohne Verzug in den Bildungsprozeß einzuordnen. Außerdem hat der Lehrer heute neue technische Mittel zur Verfügung. Ihre Verwendung wird die Berufsfähigkeit des Lehrers verändern. Als Fachmann, der sich auf die Handhabung dieser Medien versteht, wird er in der Lage sein, die Lernprozesse auf neue Weise zu fördern". In besonderem Maße trifft dieses Zitat aus dem Strukturplan des deutschen Bildungsrates (15, S.217) auf den Arbeitsprojektor und die Arbeitsprojektion zu. Unter den visuellen Medien ist der Arbeitsprojektor dasjenige, das die weiteste Verbreitung in den Schulen gefunden hat. Nach Angaben der Geräteherstaller sollen in der Bundesrepublik bereits 1975 zwischen 3o ooo und 5o ooo Arbeitsprojektoren in den Schulen vorhanden gewesen sein.

Bei der Projektion chemischer Experimente können alle didaktischen und methodischen Maßnahmen wie Auf- und Abdecken, Verändern, Hervorheben, Hinzufügen und Wegnehmen, Auswählen, Verstärken, Verschieben, Zeichnen und Schreiben allen Schülern sichtbar gemacht und zur effektiven Steuerung von Lernprozessen eingesetzt werden. Da Arbeitstransparente visuelle Informationsträger sind, müssen sowohl bei ihrer Anfertigung (siehe Kapitel 4.5) als auch bei ihrer Darbietung (siehe Kapitel 5.3.2) wahrnehmungspsychologische Gegebenheiten berücksichtigt werden. Erst durch eine sachgerechte Gestaltung und Darbietung des zu projizierenden Experiments wird die verbale Kommunikation zwischen Lehrer und Schüler optimal unterstützt. Bei den Schülern tritt durch die Synchronisation von Bild und Wort eine 2o bis 3o prozentige Steigerung des Konzentrationsverhaltens ein (35, S.191).

Für eine Visualisierung mittels Arbeitstransparent sind folgende Inhalte des Chemieunterrichts geeignet:

Darstellung von Versuchsaufbauten
(Das Grundtransparent enthält den Versuchsaufbau. Die darübergelegte Folie - eine oder mehrere - zeigt Einzelheiten des Reaktionsablaufes);

Tabellen, Graphiken, Diagramme, Schemata;

Lücken- und Aufgabentexte;

Fließbilder großtechnischer Abläufe;

Vorgänge in modellhafter Darstellung.

Arbeitstransparente lassen sich je nach methodisch-didaktischen Intentionen in verschiedenen Phasen des Unterrichts einsetzen:

Phase der Motivation,
Phase der Problemstellung,
Phase der Erarbeitung,
Phase der Zusammenfassung,
Phase der Ergebnissicherung,
Phase der Festigung,
Phase der Übung.

Weiterhin können Beobachtungen, die am konkreten Experiment erfolgen - wie rasch ablaufende chemische oder physikalisch-chemische Vorgänge - durch den Einsatz des Arbeitstransparentes in einzelne, für den Erkenntnisprozeß wichtige Phasen zerlegt werden und pseudodynamisch wiedergegeben werden.

4.Wahrnehmungselemente und ihre Bedeutung für die Gestaltung chemischer Experimente

4.1 Links - Rechts

Bei älteren Kindern und Erwachsenen ist eine zunehmende Gewohnheit festzustellen, beim Betrachten regelmäßig angeordneter Figuren oder verbalen Materials systematisch von links nach rechts vorzugehen. Wie sich diese Gewohnheit bei Erwachsenen auf die periphere Wahrnehmung auswirkt, zeigt ein Experiment von Heron (39). Werden von einem zentralen Fixationspunkt Figuren oder Buchstaben kurzzeitig links oder rechts dargeboten, dann erfolgt die Wahrnehmung einzelner Buchstaben rechts genauer als links. Wyke und Ettlinger (87) zeigten, daß Bilder bekannter Gegenstände unter den gleichen Bedingungen rechts genauer wahrgenommen wurden als links. Beim Betrachten rechts und links gleichzeitig dargebotener Figuren wurde festgestellt, daß auf der linken Seite mehr erkannt wurde als auf der rechten, Heron (39). Diese Ergebnisse bestätigen die bereits von Gaffron (25) und Metzger (54) vorgenommenen Untersuchungen.

Abb. 1

Betrachtet man die beiden Zeichnungen (Abb.1), so steht für über drei Viertel aller Beobachter fest, nach Metzger (54 ,S.157), daß der linke Strich 'abwärts' und der rechte 'aufwärts' verläuft. Daraus könnte der Schluß gezogen werden, daß wir vorwiegend Bilder von links nach rechts betrachten. Auch das kulturanthropogene Argument, wir Europäer schreiben und lesen von links nach rechts, könnte zu diesem Schluß mit herangezogen werden. Das anthropogene Argument wurde einer Prüfung unterzogen. Persischen Kindern, die von rechts nach links schreiben und lesen, wurden die Zeichnungen vorgelegt. Es zeigte sich, daß auch von ihnen das Bild bevorzugt von links nach rechts betrachtet wurde. Gaffron

(26 ,S.312 ff) erklärt das bevorzugte 'von links nach rechts'-Sehen mit der Dominanz der linken Großhirnrinde. Dort befinden sich die höheren Zentren für das Sprechen, Schreiben und Lesen. Trifft diese Dominanz gleichermaßen für das linke Sehzentrum zu, dann würden die Sehinformationen bevorzugt und somit schärfer wahrgenommen, die innerhalb des rechten Gesichtsfeldes erscheinen. Nur eine erhöhte Aufmerksamkeit für die Vorgänge des linken Gesichtsfeldes kann diese Asymmetrie aufheben. Vom Ort der ersten Aufmerksamkeit würde sich das Auge spontan zum Bereich des deutlichsten Sehens bewegen. Unter der Voraussetzung, daß Gaffrons Analyse stimmt, unterscheidet sich das rechte vom linken Gesichtsfeld.
Die rechte Seite ist die auffälligere, und das Anschauungsgewicht dieses Bildteils wird erhöht.
Der Wahrnehmende identifiziert sich offensichtlich mit der linken Seite, und dadurch erhält dieser Bildteil für ihn einen zentralen und bedeutenderen Charakter.
Das Erfassen eines Bildes von links nach rechts erfolgt leichter und müheloser.

4.2 Oben - Unten

Unabhängig von Kopf- und Körperhaltung geht das Gefühl für die natürliche vertikale Schwerkraft nie ganz verloren. Folglich kann daraus, gleich in welcher Lage wir uns befinden, immer die visuelle Bedeutung des 'Aufrechten' aus ihr erschlossen werden, Gibson (29 ,S.60). Gibson und Mowrer (30) haben festgestellt, daß die 'aufrechte' Richtung in der visuellen Welt immer mit der Schwerkraftrichtung übereinstimmt.

Räume, Häuser und die Mehrheit der Dinge, die von Menschen geschaffen wurden, sehen wir als rechtwinklige Gegenstände. Die Tendenz zur Rechtwinkligkeit ist aber nicht nur ein autonomes Wahrnehmungsprinzip, wie es die Gestaltpsychologen behaupten, Rausch (64). Bevorzugungen für Rechtwinkligkeit sind nicht nur auf Seiten des wahrnehmenden Subjekts, sondern auch in der objektiven Realität gegeben. Gesetze der Gravitation und der Statik machen es notwendig, daß bei vielen durch Menschen hergestellte Gebilde rechte Winkel vorherrschend sind. Durch viele entscheidende Erfahrungen des Kindes mit der durch die Gravitation und Statik bedingten Ordnung

erfolgt eine Oben-Unten-Kodierung. Cairns und Steward (12) untersuchten die extrarelationalen Kodierungsleistungen von Kindern. Dabei stellten sie fest, daß die Kinder weniger Fehler bei der Verwechslung von Oben und Unten als von Links und Rechts machten. Ihre Ergebnisse bestätigten die Annahme von Huttenlocher (41), der davon ausgeht, daß die Unterscheidung von Oben und Unten vor der von Links und Rechts erfolgt.

4.3 Die Gestaltgesetze

4.3.1 Figur-Grund

Das Vorhandensein einer Inhomogenität in der distalen Reizung ist die Mindestvoraussetzung für eine differenzierte Wahrnehmung. Das heißt, um eine Figur wahrnehmen zu können, sind Helligkeits- oder Farbunterschiede zwischen den Elementen erforderlich. Die Abhebung der 'Figur' vom 'Grund' ist nach Ansicht der Gestaltpsychologen das erste Wahrnehmungsstadium. Diese 'Figur-Grund-Differenzierung' wird daher meist für die Formwahrnehmung als primär und fundamental angesehen. Rubin (67) hat als erster die Gesetzmäßigkeiten der 'Figur - Grund - Gliederung' analysiert.

Von Sander (70) wurde eine Methode zur Untersuchung der Figurwahrnehmung entwickelt. Diese Methode wird als Aktualgenese oder Mikrogenese bezeichnet. Einem Betrachter wurde eine komplexe Figur kurzzeitig dargeboten, die Expositionszeit wurde ständig vergrößert, und der Beobachter notierte fortlaufend seine Wahrnehmungserlebnisse. Innerhalb der kurzen Expositionszeiten berichtete die Versuchsperson zunächst über unspezifische Helligkeitsunterschiede. Mit längeren Expositionszeiten nahm die Differenziertheit der Aussagen zu, wobei in der letzten Phase die Figurerkennung erfolgte. Daß die Wahrnehmung einzelner Figuraspekte nicht zufällig erfolgt, ist einer Untersuchung von Cheatham (13) zu entnehmen. Bei kürzeren Expositionszeiten wurden zuerst Kanten oder Konturen wahrgenommen, später dann z.B. Winkel.

Nach der Gestaltpsychologie, Koffka (45), hebt sich der differenzierte Teil einer Abbildung aus dem 'Grund' hervor. Dieser Teil wird als 'Figur', der Rest der Abbildung als 'Grund' erlebt. Dabei erscheint die 'Figur' differenziert, einheitlich und auf oder vor dem 'Grund' zu liegen. Die Einheitlichkeit der 'Figur' macht diese zur

'Gestalt'.

4.3.2 Linien

Den Faktor der durchgehenden Kurve oder des glatten Verlaufs führt Wertheimer (82 ,S.320 - 325) in mehreren Schritten ein, wobei er gleich zu Beginn die Beschränkung auf diskontinuierliche Punktgruppen aufgibt.

Läßt ein aus durchgezogenen oder punktierten Linien bestehendes Reizmuster eine geradlinig angeordnete Zusammenfassung zu, so ergibt sich folgendes:
"Stoßen vier Linienabschnitte in einem Punkt zusammen, derart, daß je zwei davon einander geradlinig fortsetzen, so erfolgt der Zusammenschluß bzw. die Abgliederung nicht im Sinne zweier einander berührender Winkel, sondern zweier einander kreuzender Geraden, die trotz Zusammenfalls in einem Punkt gegeneinander klar abgesetzt sind (oft hintereinander zu verlaufen scheinen)".

In Abb.2 ist dieser Sachverhalt auf zwei sich kreuzende Leitungen übertragen worden.

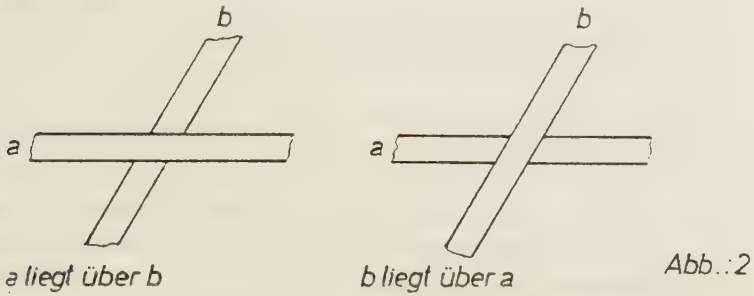


Abb.:2

"Stoßen drei Linienabschnitte in einem Punkt zusammen, derart, daß zwei davon einander geradlinig fortsetzen, so erfolgt der Zusammenschluß im Sinne Gerade plus Zweigstück, nicht im Sinne von Winkel plus Rest".

Das Durchgehen oder der glatte Verlauf erfolgt in Abzweigungen folgendermaßen (Abb.3): Die Linienzüge (Leitungen) in a gliedern sich nicht in drei, sondern in zwei Teile. Die Gliederung erfolgt auch nicht wie in b und c dargestellt, sondern wie in d. Durch

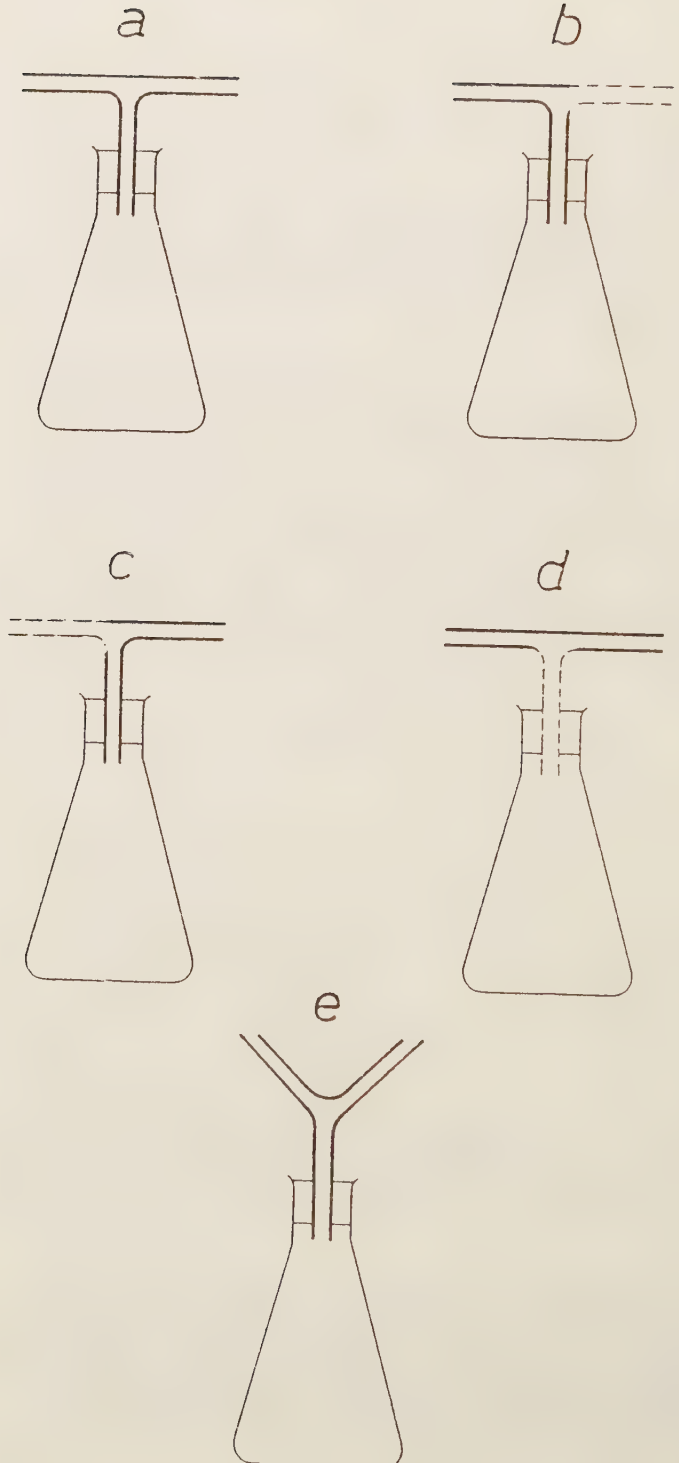


Abb. 3

die Verwendung eines Y-Stückes wird dem Gesetz des glatten Verlaufs entsprochen, und der Betrachter sieht eine Führung in das Gefäß.

Wertheimer (82 ,S.32o - 325) führt in seinem Aufsatz noch weitere Beispiele an. Diese brauchen und können auch teilweise nicht auf den Verlauf von Leitungen übertragen werden, da derartige Verläufe in der Praxis nicht vorkommen. Es sei an dieser Stelle nur noch darauf hingewiesen, daß für Abschnitte gerader Linien ebenso gilt, was für Abschnitte beliebiger Kurven gültig ist.

Arnheim (3 ,S.179 ff) weist darauf hin, daß eine Gerade für die Anschauung die einfachste Linie ist. Sie erschließt den Raum und führt die Richtung ein. Linien, die horizontal oder vertikal verlaufen, werden bevorzugt wahrgenommen. Derartige Linien vermitteln dem Betrachter zuverlässige Anhaltspunkte. Die Bevorzugung horizontal oder vertikal verlaufender Linien führt dazu, daß zur Erzeugung einer gerichteten Spannung die schräg verlaufende Gerade das wirksamste Mittel ist. Dementsprechend erhalten schräg verlaufende Leitungen einen dynamischen oder aktiven Charakter. Die durch Linienzüge dargestellten Leitungen vermitteln dem Betrachter folgende Informationen:
Ausgangspunkt, Richtung, Veränderungspunkte (Winkel und Bogen), Ende bzw. die Fortführung mit anderen Leitungen.

Die zu diesem Themenbereich erfolgten Ausführungen und Darstellungen lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:
Wenn in Experimentieranordnungen der Verlauf der Leitungen nicht dem Gesetz des glatten Verlaufs oder der durchgehenden Kurve entspricht, so kann bei der Betrachtung eine Störung der wahrnehmungsmäßigen Abfolge eintreten.

4.3.3 Gesetze - Gruppierungen

Als erster hat Max Wertheimer (82) in den Jahren 1911 bis 1914 eine Untersuchung über die Zusammenhangs- und Abgrenzungsverhältnisse in der Wahrnehmung durchgeführt, deren Ergebnisse aber erst 1923 veröffentlicht wurden. Im ersten Teil seiner Untersuchung beschränkt sich Wertheimer auf die Zusammenhangs- und Abgrenzungsverhältnisse von 'Elementen', das heißt von Kleingebilden, die selbst schon

ausgegliedert waren. Im zweiten Teil (82 ,S.329 ff) untersucht und formuliert er die Gesetze der Figurbildung. Aufgrund dieser Untersuchungen formuliert Wertheimer die Gestaltgesetze für Gruppen, und zwar: das Gesetz der Nähe, der Gleichartigkeit, des gemeinsamen Schicksals usw. Cesare L.Musatti (57) wies ein paar Jahre später nach, daß sich Wertheimers Regeln auf eine einzige zurückführen lassen, nämlich auf das Prinzip der Gleichartigkeit oder Ähnlichkeit. Dieses Prinzip wird auch von Arnheim (3 ,S.79 ff) aufgegriffen und in seinen Erläuterungen und Darstellungen verwendet. In meinen weiteren Ausführungen werde ich nicht die Terminologie Wertheimers verwenden, sondern in Anlehnung an Musatti und Arnheim fortfahren.

Sind in einer Vorlage mehrere 'Elemente' vorhanden, so sind die Beziehungen zwischen diesen 'Elementen' von der Struktur des Ganzen abhängig. Zeichnen sich dabei alle 'Elemente' durch absolute Gleichartigkeit aus, so liegt hier der Grenzzustand vor, wo das Sehen der Strukturlosigkeit nahekommt. In Abb.4 ist eine solche Situation dargestellt. Aufgrund der vorhandenen absoluten Gleichartigkeit der 'Elemente' sucht der Betrachter vergeblich irgendeine Gesetzmäßigkeit, die an der Anordnung der 'Elemente' beteiligt sein könnte. Der Faktor der Gleichartigkeit nimmt unter allen anderen Faktoren eine Sonderstellung ein. Alle anderen Faktoren setzen die vorherige Wirkung dieses Grundfaktors voraus. Erst wenn der Betrachter festgestellt hat, daß keine Gleichartigkeit der 'Elemente' vorhanden ist, beginnt er die Vorlage zu unterteilen. Arnheim (3 ,S.80) weist in diesem Zusammenhang darauf hin, daß Ähnlichkeit und Unterteilung zwei entgegengesetzte Pole sind. Die Unterteilung ist eine der wichtigsten Voraussetzungen des Sehens, dagegen kann Ähnlichkeit Dinge unsichtbar machen. Die Bildung von Vergleichen, Verbindungen und Unterteilungen ist nur in solchen Vorlagen möglich, in denen eine Ähnlichkeit zwischen den 'Elementen' vorhanden ist. Die Ähnlichkeit wird aber nur dann erkannt, und nur so wird sie als Strukturprinzip erkennbar, wenn gleichzeitig eine Trennung zwischen den 'Elementen' gegeben ist. Sind Ähnlichkeit und Trennung zwischen den 'Elementen' vorhanden, so wirken diese wie eine Affinität zwischen den 'Elementen'.

Die Abbildungen 5 - 8 zeigen die für die Gestaltung von Versuchsaufbauten wichtigsten Wahrnehmungsmerkmale zu Gruppenbildung und Unterteilung.

Abb.5 zeigt die Gruppenbildung nach Formunterschieden. Man erkennt, daß sich gleichartige Figuren auch über größere Entfernung zusammenschließen. Weitere Faktoren der Gruppenbildung sind Größe und Farbe.

Abb.6 zeigt die Gruppenbildung nach der Ähnlichkeit der Raumlage. Die Zusammenfassung der Figuren, die sich weiter nicht voneinander unterscheiden, erfolgt hier im Sinne des kleinsten Abstandes. Vergleicht man Abb.5 und 6, so erkennt man, daß Gleichartiges sich fester zusammenschließt als nahe Beieinanderliegendes.

Abb.7 zeigt, daß je größer die Anzahl gemeinsamer Merkmale der Figuren, desto fester ihr Zusammenschluß ist. In Abb.6 bilden sich zwei Gruppen. Unter Verwendung von Farbe bzw. Innenstruktur entstehen andere Gruppierungen.

Abb.8 zeigt, daß die Wahrnehmungsmerkmale zu Gruppenbildung und Unterteilung innerhalb einer Gesamtdarstellung auch für sogenannte Untergruppen gültig sind. Die jeweils in Form und Farbe gleichartig gezeichneten Schlauchverbindungen und Stopfen lassen in dieser Darstellung die jeweilige Untergruppe deutlich erkennen.

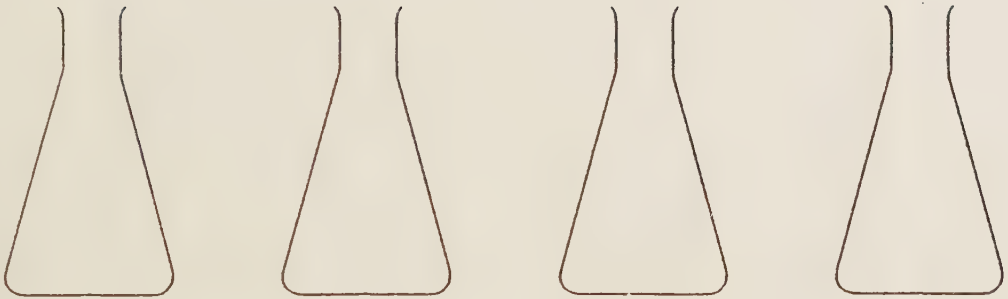


Abb.: 4

Abb.: 5

Abb.: 6

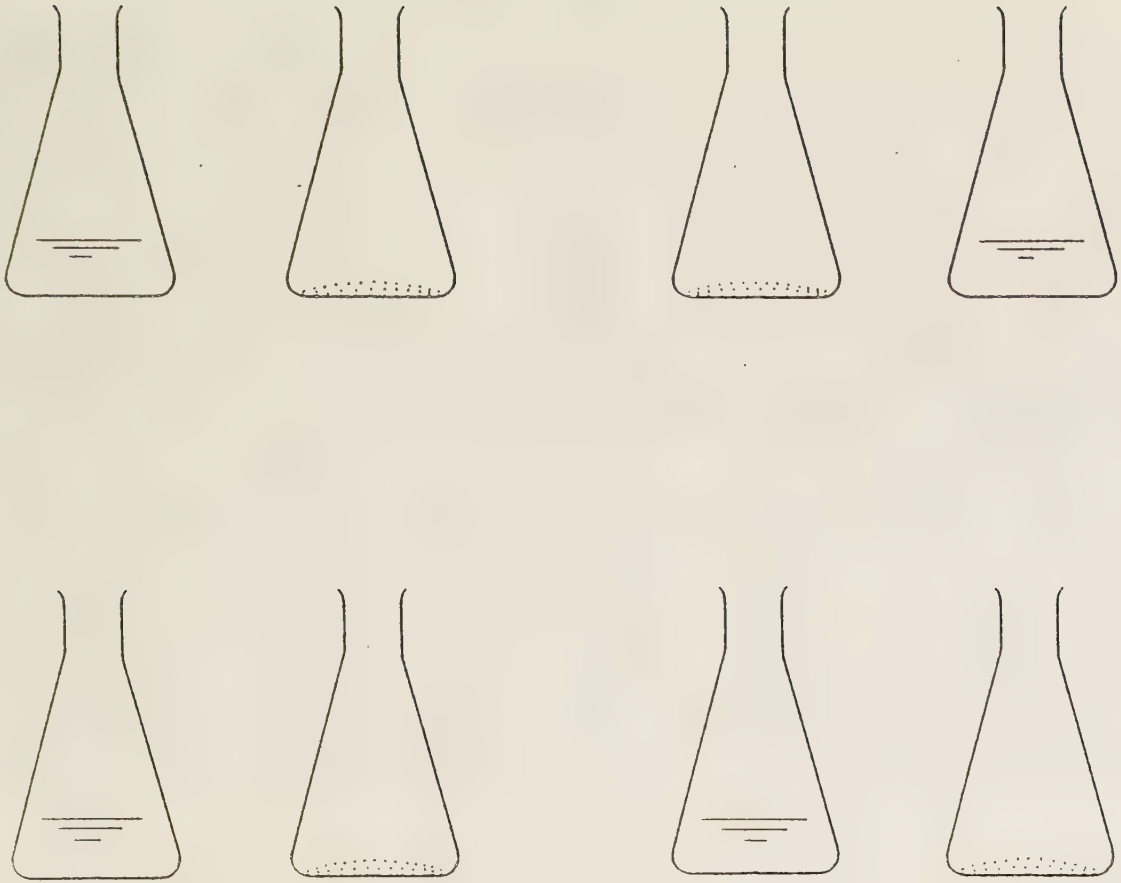


Abb.: 7

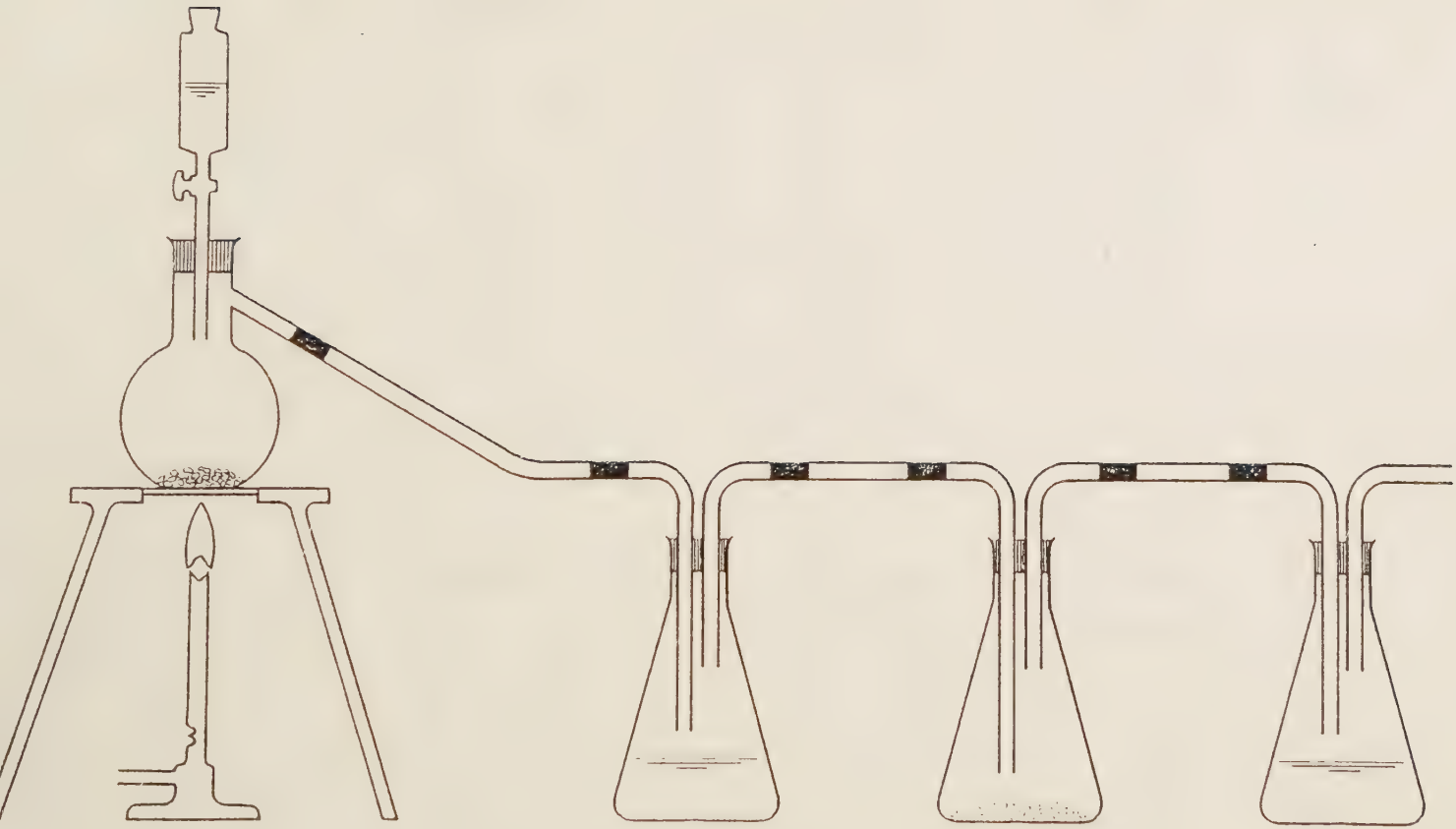


Abb. : 8

4.4 Die Gestaltung von Demonstrationsexperimenten

Die unter 4.1 - 4.3.3 aufgeführten Wahrnehmungselemente bedürfen teilweise einer gesonderten und differenzierteren Betrachtungsweise als bisher dargestellt. Durch das Zusammenfügen realer Einzelteile zu einem Demonstrationsexperiment kommen sowohl qualitative als auch quantitative Wahrnehmungselemente zur Anwendung, die sich nach der Fertigstellung des Aufbaus visuell zu einer neuen Gesamtbeschaffenheit vereinen. In der folgenden Aufstellung seien nur die wichtigsten am Versuchsaufbau beteiligten Geräte aufgeführt, welche aufgrund ihrer Dreidimensionalität, ihrer Form, ihres Detailreichtums, ihrer Farbe und/oder Oberflächenbeschaffenheit die Erkennbarkeit der beabsichtigten Merkmale beeinflussen können, die zur Erfassung des Wesentlichen nötig sind. Das gilt nicht nur für den Versuchsaufbau als Ganzheit, sondern auch für den Teil, auf den sich die momentane Aufmerksamkeit des Betrachters richtet.
Hier eine Aufstellung der am Versuchsaufbau meist gebrauchten Geräte und ihrer Eigenschaften:

Glasgeräte:	Durchsichtigkeit - glatte Oberfläche - Spiegelungen
Leitungen: (Glas oder Kunststoff)	Durchsichtigkeit - glatte Oberfläche - Spiegelungen
Leitungen: (Gummi)	Undurchsichtig - Farbe
Stativmaterial:	Verschiedene Oberflächen - unterschiedliche Formen - mehrere Farben - Detailreichtum

Zusätzlich ist zu berücksichtigen, daß auf die Erkennbarkeit des Aufbaues, nämlich die ganzheitliche Wirkung des Experimentes, durch einen heterogenen Hintergrund wie Tafel, Wand des Klassenraumes oder Experimentiertisch mit seinen eigenen zusätzlichen Einrichtungen Einfluß ausgeübt wird.

Die Notwendigkeit, Demonstrationsexperimente anschaulicher zu gestalten, hat als erster Klein (44 , S.26-34) erkannt und in ausführlicher Weise dargestellt. Alle anderen Publikationen enthalten dazu mehr oder weniger allgemein gehaltene Hinweise und beziehen sich direkt oder indirekt auf seine Ausführungen. Aus diesem Grund werden sie auch hier nicht im einzelnen aufgeführt. Obwohl Kleins Ausführungen eine differenzierte und ausführliche Darstellung gestaltpsychologischer Gegebenheiten vermissen lassen, so ist es

doch sein Verdienst, als erster diese Problematik in die fachdidaktische Diskussion eingebracht zu haben. An dieser Stelle soll nur noch auf die Publikationen von Richter (65, S.268-274) und Korb/Arnheim (49, S.117-123) hingewiesen werden, die im Vergleich zu Klein (44) ebenfalls keine grundlegenden neuen Aussagen beinhalten. Dieser Erkenntnisstand wird auch in den neueren fachdidaktischen Lehrbüchern berücksichtigt, so z.B. bei Becker u.a. (6) und Schmidt (74).

Was bei Klein u.a. zwar angesprochen, doch nicht konsequent angewandt wurde - die Übertragung der einzelnen Wahrnehmungselemente auf das Demonstrationsexperiment - soll nun ausgeführt werden.

Links - Rechts
Bei der Erstellung von Demonstrationsexperimenten ist darauf zu achten, daß die chemischen 'Abläufe' immer von links nach rechts stattfinden, der Aufbau also dementsprechend verläuft.

Oben - Unten
Eine ungehinderte Beobachtungsmöglichkeit ist für alle Schüler nur dann gegeben, wenn der Versuchsaufbau nicht direkt auf dem Experimentiertisch steht. Postnikow (61, S.88) berechnete unter Anwendung des Strahlensatzes, daß die Höhe der Geräte über dem Experimentiertisch ungefähr 50 cm betragen soll. Bei einer zwei- oder gar dreistöckigen Anordnung der Glasgeräte müßte das untere Glasgerät in einer Höhe von 50 cm angebracht werden. Das hätte zur Folge, daß alle anderen Glasgeräte weiter nach oben verlagert werden müßten. Die Schüler in den vorderen Reihen hätten somit, was den ersten Teil des experimentellen Ablaufes betrifft, eine nur ungenügende Beobachtungsmöglichkeit, da sie die Apparatur nur von schräg unten betrachten können. Weiterhin läßt die notwendige Zusammenführung chemischer Substanzen einen derartigen Versuchsaufbau meistens nicht zu. Aus den genannten Gründen sollte einer Links-Rechts-Anordnung der Vorzug gegeben werden.

Figur - Grund
Ein Sonderfall in der Wahrnehmung ist die Durchsichtigkeit der Glasgeräte und Leitungen, soweit diese aus Glas oder Kunststoff bestehen. Beim Aufbau eines Experimentes werden die Glasgeräte an Haltern befestigt und diese wiederum an Stativstangen. Betrachtet man ein derartig aufgebautes Experiment in der Frontalansicht, so

stellt man fest, daß immer Objekte und Teile von Objekten dem Blickfeld im Wege sind. Wobei zusätzlich, bedingt durch die Unterschiede in der Dichte der Oberflächen, räumliche Sprünge vom Vordergrund zum Hintergrund stattfinden. Um nun dem Betrachter eine sofortige Figur - Grund - Differenzierung zu ermöglichen, ist es notwendig, den Experimentieraufbau vor einen homogen gefärbten Hintergrund zu stellen. Zusätzlich müssen alle Stativmaterialien die gleiche homogene Färbung wie der Hintergrund besitzen. Erst dann erscheinen die für den Versuchsablauf relevanten Geräte als Figur in ihrer Ganzheit.

Kontrastwand

Sie sollte sowohl oben als auch seitlich über den eigentlichen Versuchsaufbau hinausragen. Als geeignetste Färbung der Kontrastwand erscheint ein weiches Dunkelbraun; eine schwarze Wand wirkt zu kontrastierend.

Glasgeräte

Es sollten Glasgeräte mit gleicher Schichtdicke verwendet werden, da sonst bei einem Vergleich zweier Substanzen die Schüler zu der Annahme verleitet werden könnten, eine Substanz sei teilweise entfärbt worden.

Auch die Verwendung zu kleiner Glasgeräte ist nicht zu empfehlen, da sonst das zu Beobachtende durch Lichtreflexe überlagert wird.

Die Lehrmittelindustrie bietet bis heute keine fertigen Kontrastwände und auch kein entsprechendes Stativmaterial an. Von Sander und Schmidkunz (71) wurde daher eine "Haltevorrichtung für eine Experimentiereinrichtung mit standardisierten Stofftransportelementen und einer Kontrastwand" entwickelt, siehe Abb.9, und als Gebrauchsmuster angemeldet.

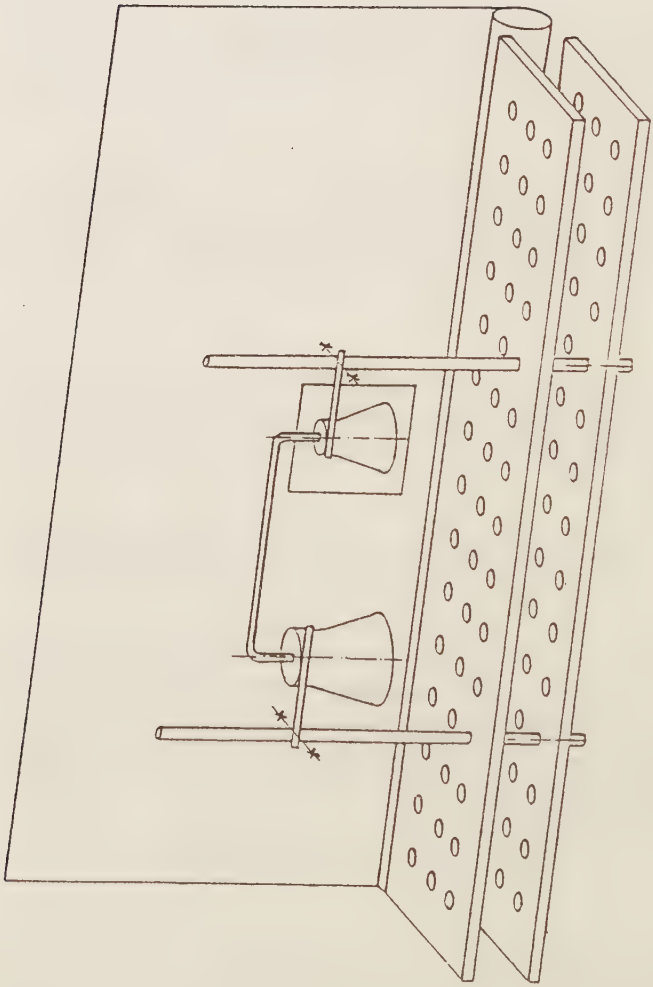


Abb.: 9

4.5 Die Gestaltung gezeichneter Experimente

Ebenso wie in der bildenden Kunst ist das gezeichnete chemische Experiment keine inhaltlose Ansammlung von Objekten. Wäre dies der Fall, so müßte jeder zeichnerischen Darstellung nachträglich eine Struktur eingefügt werden. Wird von einem in der Realität vorhandenen Objekt (Demonstrationsexperiment) eine Zeichnung erstellt, so kommt es dabei zwangsläufig zu einer Differenzierung im Sinne von eindeutiger Charakterisierung und Ausprägung des Darzustellenden. Zum Merkmal einer Zeichnung, und das trifft im besonderen Umfang auf die rein lineare Zeichnung zu, gehört, daß sie extrem immateriell ist. Die beiden Haupteigenschaften linearer Zeichnung lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:
Sie gehört zu den sparsamsten bildnerischen Mitteilungen.
Sie ist ökonomischer als alle anderen Darstellungsformen.

Aufgrund der deutlichen Reduktion von räumlichen, körperhaften und farbigen Eigenschaften gegenüber dem realen Experiment verlangt die lineare Zeichnung vom Wahrnehmenden ein hohes Abstraktionsvermögen. Für den Zeichner ist diese Art der Darstellung der kürzeste Weg, sei es von einer Idee oder vom konkreten Objekt ausgehend, zur sichtbaren Abbildung. Dabei ist sichergestellt, daß die Verwendung sparsamster und ökonomischer zeichnerischer Mittel nicht dazu führt, daß dem Wahrnehmenden bei der Betrachtung einer derartigen Abbildung die Einsicht in den Aufbau, in die Struktur und die Proportionen verloren geht.

Es erfolgt nun die Übertragung, soweit dies notwendig ist, der in 4.1 - 4.3.3 aufgeführten Wahrnehmungselemente auf dieses Medium.

Links - Rechts

Von Schmidkunz und Sander (72) wurde die Bedeutung des 'Links-Rechts-Durchlaufens' auf gezeichnete Versuchsaufbauten übertragen und dabei hervorgehoben, daß 'Abläufe' immer von links nach rechts dargestellt werden sollten.

Oben - Unten

Die Bedeutung der Oben-Unten-Kodierung für gezeichnete Versuchsaufbauten wurde bereits von Schmidkunz und Sander (72) herausgestellt. Sie weisen darauf hin, daß sowohl konstruktive Gegebenheiten der Experimentiergeräte als auch die notwendige Zusammenführung von

Substanzen einen derartigen Versuchsaufbau meistens nicht zulassen. Ist eine Oben-Unten-Anordnung nicht möglich, so muß eine Links-Rechts-Anordnung vorgenommen werden. Werden in Darstellungen die am Versuchsaufbau beteiligten Geräte in einer der aufgeführten Kodierungsweisen angeordnet und durch Leitungen miteinander verbunden, so werden sie vom Wahrnehmenden in der Abfolge 'Vorher' und 'Nachher' betrachtet. Die Beziehung von Ursache und Wirkung ist in dieser Abfolge intendiert.

Figur - Grund

Die Begriffe 'Figur' und 'Grund' sind nur so lange anwendbar, wie wir uns auf eine abgegrenzte, homogene Form in einer ebenfalls homogenen endlosen Umgebung beziehen. Derartige Bedingungen sind allerdings selten gegeben. Arnheim (3 ,S.217 ff) weist darauf hin, daß die Regeln zur 'Figur - Grund - Differenzierung' ergänzt werden müssen, wenn mehr als zwei Ebenen vorhanden sind. Er überträgt diese Regeln auf bildnerische Darstellungen, und seinen Ausführungen ist zu entnehmen, daß sich Linien grundsätzlich in drei Arten unterscheiden:

Objektlinie

Eine Linie wird als eindimensionales Objekt wahrgenommen. Wenn Linien sich kreuzen, bleiben sie entweder selbständige Objekte, oder sie bilden sich durch Vereinigung zu komplexeren Objekten.

Schraffierlinie

Durch das Gesetz der Einfachheit erfolgt die wahrnehmungsmäßige Zusammenfassung von Linien. Durch mehrere eng aneinanderliegende Parallellinien entsteht somit eine neue Gesamtstruktur. Die Linie hört auf, Einzelobjekt zu sein und wird zur Schraffierlinie, welche Flächen entstehen läßt.

Umrißlinie

Zeichnen wir eine durch Linien begrenzte Figur auf eine Unterlage, so erfolgt die Wahrnehmung des Ergebnisses in einer der zwei folgenden Arten: Wir sehen die Figur als Form, die auf einer Grundfläche liegt. Daraus folgt, daß die Umrißlinie als Objektlinie gesehen wird. Wir können aber auch die eingeschlossene Form als körperhaftes Objekt sehen. Nur in diesem Fall sehen wir die Linie als Umrißlinie. Die Linie ändert somit als Umrißlinie ihre Funktion.

Das eindimensionale Objekt Linie erfährt eine Veränderung, indem sie zum Umriß eines zweidimensionalen Objektes wird. Dieses zweidimensionale Objekt wird dadurch Teil einer Ganzfigur.

Werden Situationen realer Gegebenheiten in Zeichnungen dargestellt, stellen Umrißlinien räumliche Objekte dar. Umrißzeichnungen sorgen auf der Unterlage, auf die sie gezeichnet werden (Papier, Folie, Tafel usw.), für Unterbrechungen im Sinne einer 'Figur - Grund - Differenzierung'.

Linien

In zeichnerischer Darstellung werden Leitungen, wie sie in Experimentieranordnungen auftreten, durch zwei in engem Abstand parallel verlaufende Linien dargestellt. Wie bereits ausgeführt, werden diese Linien dabei zu Umrißlinien von Objekten, nämlich hier den Leitungen. Der Zusammenschluß dieser Linien erfolgt durch Gleichheit, Symmetrie und Nähe, Wertheimer (82 ,S.331 - 337). Daß dieser Zusammenschluß nicht nur durch die angeführten Gesetze erfolgt, darauf weist Metzger (54) hin. Seinen Ausführungen ist zu entnehmen, daß sowohl die sachliche Gegebenheit des Ganzen als auch das inhaltliche Zueinander des Gegebenen mit über die Bildung von Einheiten entscheidet.

4.6 Komplexität in Darstellungen

4.6.1 Gestaltpsychologie und Komplexität

Wie bereits erwähnt, arbeitete Wertheimer (82) in seiner grundlegenden Arbeit eine Reihe von Gestaltgesetzen heraus. In der Geschichte der Wahrnehmungspsychologie unterlag die Anzahl der wichtigsten Gestaltfaktoren großen Schwankungen. Helson (37) nannte 114 Gestaltfaktoren; Boring (11) reduzierte diese auf 14, und Metzger (53) nennt nur noch 7.

Die folgende Aufzählung dieser 7 Gestaltfaktoren entspricht der von Metzger (53) zuletzt genannten Reihenfolge:

1. Faktor der Gleichartigkeit,
2. Faktor der Nähe,
3. Faktor des gemeinsamen Schicksals,
4. Faktor der objektiven Einstellung,
5. Faktor des Aufgehens ohne Rest,

6. Faktor der durchgehenden Kurve,
7. Faktor der Geschlossenheit.

Diese Gestaltfaktoren wurden von den Gestalttheoretikern in dem 'Gesetz der guten Gestalt' bzw. dem 'Prägnanzsatz' verallgemeinert. Der allgemeine Prägnanzsatz besagt, daß sich sowohl bei der Bildung von Gruppen im Sehfeld als auch bei der Bildung von Figuren immer die Gliederung durchsetzt, die durch die sachliche Beschaffenheit der gesamten Reizsituation gegeben ist, wobei die sachliche Beschaffenheit durch Ganzeigenschaften bestimmt wird, wie Einfachheit, Regelmäßigkeit, inneres Gleichgewicht, Symmetrie und Geschlossenheit. Die Prägnanzcharakteristik einer Darstellung wird nicht nur durch die genannten Ganzeigenschaften geprägt, sondern auch durch das Verhältnis von Komplexität und Ordnung. Vom jeweiligen Betrachter hängt es ab, ob die Wahrnehmung einer komplexen Vorlage entweder als gesetzmäßig, geordnet und sinnvoll oder aber als zergliedert, ohne Ordnung und unzugänglich angesehen wird. Diese Reaktionen, dabei gibt es natürlich Zwischenstufen, gaben den Anlaß, zwischen dem Komplexitätsgrad und dem Ordnungsgrad einer Darstellung eine Beziehung aufzustellen. Unter dem Namen "Gestalthöhe" ist eine solche von v.Ehrenfels (18) angegeben worden. Diese "Gestalthöhe" als Rangmerkmal zwischen Figuren oder Darstellungen setzt sich bei ihm zusammen aus dem Produkt von "Einheit" (Ordnung) und "Mannigfaltigkeit" (Komplexität). Rausch (64) weist darauf hin, daß der Unterschied zwischen den von v.Ehrenfels (18) verwendeten Termini "Einheit" und "Mannigfaltigkeit" zu denen von Ordnung und Komplexität unerheblich ist.

Unter Komplexität wird sowohl die Menge der innerhalb einer Reizvorlage erkennbaren Teilfiguren als auch der Glied- bzw. Elementreichtum der Teilfigur selber zusammengefaßt. Mit der Ordnung oder dem Ordnungsgrad einer Reizvorlage wird der Prägnanzaspekt angesprochen, welcher in der Weise nicht unerheblich zur Gesamtprägnanz der Vorlage beiträgt, indem innerhalb einer gegebenen Vorlage möglichst einfache Strukturen gebildet werden. Durch den Prägnanzaspekt der Ordnung ist bei einer vorliegenden komplexen Reizsituation eine Tendenz zur Binnengliederung in dem Sinne vorhanden, daß die einfachste Struktur nur gebildet werden kann, indem eine differenziertere Gruppierung zwischen den Teilfiguren vorgenommen wird. Somit kann die Komplexität als Prägnanzaspekt aufgefaßt wer-

den. Die Dualität, die v.Ehrenfels (18 ,S.125) aus dem Verhältnis, in dem Ganzes und Teile zueinander stehen, aufgestellt hat, umschreibt er so:
"Bei gleichem Grade von Mannigfaltigkeit ihrer Teile sind die Gestalten die höheren, welche diese Mannigfaltigkeit zu einer strengeren Einheit verbinden. Bei gleich strenger Einheit sind die Gestalten die höheren, welche die größere Mannigfaltigkeit umschließen".

Birkhoff (10) drückt den von v.Ehrenfels aufgestellten Dualismus von Ordnung und Komplexität in einer Quotientenformel aus, mit dem Ziel, eine Formel (siehe Kapitel 1.3) für das ästhetische Maß zu erhalten. Wie bereits erwähnt, konnte Birkhoffs Formel nicht bestätigt werden.

Die von Eysenck (21) aufgestellte Beziehung zwischen Komplexität und Ordnung (siehe Kapitel 1.3) kommt dem Ansatz von v.Ehrenfels etwas näher.

4.6.2 Der Ansatz von Berlyne

Den Grad der Komplexität in bildlichen Darstellungen objektiv bestimmen zu können, ist eines der schwierigsten Probleme. Im Kapitel 1.3 wurden zu dieser Problematik einige Ansätze (Birkhoff, Eysenck) aufgezeigt, die empirisch aber nicht bestätigt werden konnten. Um die Komplexität eines Reizmusters bestimmen zu können, verwenden die Informationstheoretiker streng geometrisch aufgebaute Muster. Derartige Vorlagen sind quantitativen Größen gut zugänglich. Natürliche Objekte variieren aber qualitativ und entziehen sich somit einer objektiven quantitativen Bestimmung. Das wird auch durch einen Vergleich der im Kapitel 4.6.3.2 aufgeführten Untersuchungen zur Bevorzugung unterschiedlicher Komplexitätsgrade in Darstellungen deutlich.

Im folgenden wird ein von der Gestaltpsychologie beeinflußter Ansatz vorgestellt, die Komplexität in natürlichen Objekten annäherungsweise zu bestimmen.

Berlyne (7) greift die von Wertheimer (82) aufgestellten Gestaltgesetze für Gruppen, die im Kapitel 4.3.3 ausführlich darge-

stellt wurden, auf, um die in einem Reizmuster enthaltene Komplexität näher bestimmen zu können. Für Berlyne steht die Komplexität eines Reizmusters in einem direkten Zusammenhang zu dem Betrag, der sich aus der Vielfalt oder Verschiedenartigkeit der Elemente ergibt, die an der Gesamtgestaltung eines Reizmusters beteiligt sind. Indem er die Gestaltgesetze für Gruppen auf Reizvorlagen überträgt, ist es ihm möglich, einige der offensichtlichsten Eigenschaften aufzuzählen, "auf denen die einem Muster zugeschriebene Komplexität beruht", Berlyne (7 ,S.61 ff).

"Wenn alle anderen Größen konstant gehalten werden, nimmt die Komplexität mit der Anzahl unterscheidbarer Elemente zu".
Auf die zeichnerische Darstellung von Versuchsaufbauten übertragen, bedeutet das: Alle aus einer Gesamtdarstellung sinnvoll herauszugliedernden Teilfiguren sind die Elemente, die zum Betrag der Komplexität dieser Darstellung beitragen. Derartige sinnvolle Teilfiguren sind z.B. abhängig vom jeweiligen Experiment: Glasgeräte, Stopfen, Stofftransportelemente, Brenner, Einzelheiten des Brenners (Schlauch, Flamme, Dreifuß). Hierbei ist zu bedenken und im Einzelfall zu prüfen, ob durch ein 'Zuviel' in der Darstellung der Komplexitätsgrad nicht so stark ansteigt, daß für den Betrachter ein Erkennen des funktionalen Zusammenhangs des Experiments unnötig erschwert wird. So würde z.B. die Darstellung des Stativmaterials die Komplexität der Darstellung unnötig erhöhen. Eine erkennbare (aber nicht gezeichnete) Grundlinie, auf der die Glasgeräte, Brenner und Dreibein anscheinend stehen, reicht für den Betrachter aus, Sicherheit in der Raumlage zu gewinnen.

"Wenn die Anzahl von Elementen konstant gehalten wird, nimmt die Komplexität mit der Unähnlichkeit der Elemente zu".
Sind alle an der Darstellung beteiligten Teilfiguren so gestaltet und/oder angeordnet, daß die Möglichkeit der Gruppierung von Teilfiguren ausgeschlossen ist, dann besitzt eine derartige Darstellung den höchsten Komplexitätsgrad. Eine solche Gestaltung wird wohl niemand vornehmen, da diese Vorlage als zergliedert angesehen würde.

Eine Abnahme der Komplexität kann stufenweise erfolgen, indem
1. die Teilfiguren so gestaltet und/oder angeordnet werden, daß zwischen ihnen Gruppierungen möglich sind; wobei die Elemente,

die in der bildlichen Darstellung des Versuchsaufbaus die gleiche Funktion erfüllen, wie z.B. die Stopfen oder auch die Verbindungen zwischen den einzelnen Stofftransportelementen und den Glasgeräten, in denen die gleiche Reaktion abläuft, eine größtmögliche Übereinstimmung (Größe, Farbe, Form) aufweisen sollten, da ihr Zusammenschluß dann am festesten ist, und

2. die Anzahl der am Versuchsaufbau beteiligten Elemente (Teilfiguren) herabgesetzt wird.
   Hierbei ist zu beachten, daß ein 'Zuwenig' in der Darstellung ein Erkennen des funktionalen Zusammenhangs des Experimentes erschweren kann.

4.6.3 Untersuchungen über die Bevorzugung unterschiedlicher Komplexitätsgrade in Darstellungen

4.6.3.1 Reale Objekte

Dem realen Objekt Demonstrationsexperiment können ebenso, in Anlehnung an Berlyne, Kapitel 4.6.2, wie einem gezeichneten Versuchsaufbau aufgrund der vorhandenen qualitativen als auch quantitativen Merkmale unterschiedliche Komplexitätsgrade (siehe Kapitel 5.3.1) zugeordnet werden. Wobei hier noch im Vergleich zu Zeichnungen oder Mustern zu beachten ist, von welcher 'Seite' der Betrachter das reale Objekt ansieht. Der Betrachter kann um ein reales Objekt herumgehen und erhält jedesmal eine 'neue' Teilansicht, die sich dann zu einem Gesamteindruck vereinigt. Derartiges liegt z.B. bei Schülerexperimenten vor. Untersuchungen über die Bevorzugung sowohl qualitativer als quantitativer Merkmale bei realen Objekten liegen nicht vor. Die weiteren Ausführungen müssen sich daher auf Zeichnungen und Muster beschränken.

4.6.3.2 Zeichnungen - Muster

Die in den Untersuchungen von Terwilliger (76) verwendeten Figuren erfuhren eine stufenweise komplexere Gestaltung und zwar dadurch, daß innerhalb eines Reizmusters die unterscheidbaren Elemente erhöht wurden. In der ersten Untersuchung verwendete er 37 Figuren. Diese bestanden aus Quadraten gleicher Größe, in die nach bestimmten Regeln kleinere und sich zum Teil überschneidende Rechtecke gezeichnet waren. 61 verschiedene Figuren verwendete er in der zwei-

ten Untersuchung. Nachdem alle Versuchspersonen alle Figuren kennengelernt hatten, wurden sie beauftragt, anhand einer 7-stufigen Skala anzugeben, wie gut ihnen die Figuren gefielen. Nach den ermittelten und graphisch dargestellten Durchschnittswerten ergab sich eine umgekehrte U-Funktion zwischen der Komplexität des dargebotenen Materials und der Bevorzugung der dargebotenen Figuren, wobei nur die Ergebnisse des ersten Experimentes einen monoton fallenden Zusammenhang zwischen der Komplexität und der Bevorzugung ergaben.

Bei einer Untersuchung von Dorfmann und Mc Kenna (16) bestand ihr Material aus sechs Rastermustern, deren Zellenanzahl zwischen 2^2 und 12^2 variierten und deren Zellenflächen mit der gleichen Wahrscheinlichkeit entweder grün gefärbt oder weiß sein konnten. Versuchspersonen waren Psychologie- und Kunststudentinnen. Entsprechend den durch Paarvergleichsmethode ermittelten durchschnittlichen Rangplätzen wurden die Versuchspersonen in etwa sechs gleich große Untergruppen aufgeteilt. Für zwei der sechs Untergruppen ergaben sich Ausnahmen von der umgekehrten U-Funktion.

In einem Experiment von Rump (68) hatten die Versuchspersonen die Aufgabe, nach ihrer Bevorzugung schwarz-weiße Flächenmuster in eine Rangreihe zu bringen. Die Auswertung ergab auch hierbei wieder eine umgekehrte U-Funktion. In einem weiteren analog verlaufenden Experiment von Rump (68) wurden den Versuchspersonen sechs symmetrische Figuren mit steigender Komponentenanzahl vorgelegt. Hier entsprach die Verteilung der durchschnittlichen Bevorzugungen nicht der umgekehrten U-Funktion.

Day (14) verwendete in seinen Untersuchungen unregelmäßige Vielecke. Die Anzahl der Ecken variierte in der ersten Untersuchung zwischen 4 und 4o, in der zweiten und dritten zwischen 4 und 9o und in der vierten Untersuchung zwischen 4o und 16o. Die im Paarvergleich dargebotenen Vielecke hatten die Versuchspersonen nach ihrer Komplexität bevorzugt zu ordnen. Die Durchschnittswerte aller Untersuchungen ergaben keinen deutlichen Zusammenhang zwischen der Komplexität (Eckenzahl) und der durchschnittlichen Bevorzugung. Nur das Vieleck mit 2o Ecken wurde bei allen Untersuchungen am geringsten bedacht.

Rump (68) verwendete in seiner Untersuchung ebenfalls Vielecke mit den Eckenzahlen 5, 7, 9, 13, 16 und 2o. Im Gegensatz zur Untersuchung von Day (14) wurde das Vieleck mit 2o Ecken in dieser Untersuchung am häufigsten gewählt.

Vitz (79) legte in seiner ersten Untersuchung den Versuchspersonen 8 verschieden komplexe Strichzeichnungen (Zufallswege) vor. Das Ergebnis der ersten Untersuchung zeigte, daß die Bevorzugung der Figuren bis zum Komplexitätsgrad 5 (von 8) monoton anstieg und dann wieder stetig abfiel. Mit 65 % der Bevorzugungen erhielt die Strichzeichnung mit der Komplexitätsstufe 5 den höchsten Rang. In einer zweiten Untersuchung verwendete Vitz (79) 6 verschieden komplexe quadratische Figuren. Hierbei erhielt die Figur mit der Komplexitätsstufe 4 (von 6) mit 64 % die höchste Bevorzugung. Diesen Untersuchungen ist zu entnehmen, daß unregelmäßige Figuren mittlerer Komplexität allgemein besser gefallen als einfachere oder komplexere. Beträchtliche individuelle Unterschiede in den Bevorzugungen ergaben sich, als er für jede Person gesondert die Bevorzugungen ermittelte.

4.6.3.2.1 Zusammenfassung

Unabhängig davon, ob in den aufgeführten Untersuchungen das visuelle Material aus Figuren oder Mustern bestand, lassen die Untersuchungsergebnisse folgendes deutlich erkennen: Weder die U-Funktion (Dorfmann, Rump) noch die umgekehrte U-Funktion (Terwelliger, Dorfmann, Rump) lassen eine mit Sicherheit zu vertretende Annahme zu, einer dieser Funktionen in eindeutiger Weise den Zusammenhang zwischen der Komplexität des visuellen Materials und der Bevorzugung zuordnen zu können. Auch die im Kapitel 1.3 aufgeführten Untersuchungen zur Komplexität und Bevorzugung, Frith/Nias (U-Funktion) und Dörner/Vehrs, Berlyne (umgekehrte U-Funktion) tragen nicht zu einer endgültigen Klärung bei.

Day (14) stellte in seiner Untersuchung die geringste Bevorzugung für das 2o-Eck fest. Dagegen fand Rump (68) gerade für das 2o-Eck die höchste Bevorzugung. Weiterhin konnte Day (14) für keines der in seiner Untersuchung verwendeten Vielecke eine eindeutige Bevorzugung feststellen.

Da die Methoden der einzelnen Untersuchungen in etwa vergleichbar sind, können die unterschiedlichen Funktionen bzw. Ergebnisse nur so erklärt werden, daß die Beziehung zwischen Komplexität und Bevorzugung vom dargebotenen Material abhängig ist. In dieser Abhängigkeit ergeben sich sowohl monoton steigende (Vitz) als auch monoton fallende (Terwelliger) Beziehungen zwischen Komplexität und Bevorzugung.

Den Untersuchungen von Dorfmann und Mc Kenna (16) sowie der von Vitz (79) ist zu entnehmen, daß Personen Vorlagen mittlerer Komplexität bevorzugen. Dabei ist zu bedenken, daß das von ihnen verwendete Material (Rastermuster, Strichzeichnungen) nach gestaltpsychologischen Gesichtspunkten keine guten Gestalten waren. Somit besteht die Möglichkeit, daß die Versuchspersonen lediglich jene Muster bevorzugten, die am leichtesten bedeutungsvoll zu organisieren waren. Diese Annahme wird durch die Untersuchungen von Berlyne/Peckham (9) und der von Eisenmann/Gellens (20) unterstützt. Ihre Vorlagen waren stärker nach gestaltpsychologischen Gesichtspunkten aufgebaut, und den Untersuchungsergebnissen ist zu entnehmen, daß die Versuchspersonen sich den besseren Gestalten häufiger zuwendeten.

5. Beschreibung der Versuchsdurchführung zur Messung der individuellen Bevorzugung gezeichneter Experimentieraufbauten

5.1 Fragestellung

In den letzten Jahren wurden in erhöhtem Umfang technologische Mittel wie Episkop-, Dia- und Arbeitsprojektor in den Unterricht einbezogen. Stärker als im herkömmlichen Unterricht legen diese Technologien den Schwerpunkt der Vermittlung von Informationen auf die visuelle Sinnesmodalität. Die Funktionen und Präsentationsformen dieser Informationen sind mannigfaltig. Jedoch konnte bisher nicht verallgemeinernd ermittelt werden, ob und in welchem Maße sie das Lernen erleichtern.

Empirische Untersuchungen, die auf die Frage nach der Auswirkung der Veranschaulichung auf das Lernen eine Antwort geben, sucht man in der einschlägigen Literatur vergeblich. Somit können die im folgenden aufgeführten Zusammenhänge zwischen Anschaulichkeit und Lernen im wissenschaftlichen Sinn nicht beantwortet werden:

Beeinflußt die Veranschaulichung das Interesse am Stoff ?

In welchem Umfang beeinflußt die Veranschaulichung das Auffassen und Behalten des dargebotenen Stoffes ?

Hat die Art der Veranschaulichung Auswirkungen auf das Lernen und somit auf den Unterrichtserfolg ?

Den einschlägigen wahrnehmungspsychologischen Untersuchungen kann nicht einmal entnommen werden, welchen Komplexitätsgrad im Unterricht zu verwendendes Material haben sollte. Die im Kapitel 4.6.3.2 aufgeführten Untersuchungsergebnisse zur Bevorzugung unterschiedlicher Komplexitätsgrade in Darstellungen weisen jedoch deutlich darauf hin, daß die Bevorzugung eines bestimmten Komplexitätsgrades vom dargebotenen Material abhängig ist. Einen den Untersuchungen entnommenen Komplexitätsgrad auf die zeichnerische Darstellung von Versuchsaufbauten zu übertragen, ist somit unzulässig.

Damit die angesprochenen Zusammennänge zwischen Anschaulichkeit und Lernen für die empirische Unterrichtsforschung zugänglicher werden, muß im Vorfeld zunächst einmal festgestellt werden, welche Visualisierungen Schüler bevorzugen. Die geplante Untersuchung soll zunächst einmal empirisch gesichert Aufschluß darüber geben, welchen

Komplexitätsgrad Schüler sowohl bei der Betrachtung von Demonstrationsexperimenten als auch bei gezeichneten Versuchsaufbauten vorrangig wählen.

5.2 Auswahl der Experimente

Eine Auswahl innerhalb der in der Sekundarstufe I möglichen chemischen Experimentieranordnungen unter fachdidaktischen Gesichtspunkten vorzunehmen, ist nicht möglich, da die Anzahl didaktisch sinnvoller Experimentieraufbauten in den einzelnen Teilbereichen der Chemie sehr groß ist und durch fachdidaktische Intentionen seitens des Unterrichtenden noch zusätzlich vergrößert wird. Sieht man einmal von den fachwissenschaftlichen und fachdidaktischen Inhalten ab, die Experimentieraufbauten vermitteln sollen, so zeigen diese zunächst lediglich eine Anordnung von Geräten, die erst je nach Zielsetzung des Experimentes durch die Auswahl und die Häufigkeit der verwendeten Geräte ihre unterschiedliche Bestimmung erkennen läßt. Da die gezeichneten Versuchsaufbauten als Vorlage für die Untersuchung zur Feststellung der Bevorzugung unterschiedlicher Komplexitätsgrade dienen sollen und die Anzahl der Vorlagen einen vertretbaren Umfang nicht überschreiten sollen, ist es angebracht, die Experimente so auszuwählen, daß dabei das Spektrum der am häufigsten am Experimentieraufbau beteiligten Geräte berücksichtigt wird.

5.3 Die Gestaltung der Experimente unter Berücksichtigung unterschiedlicher Komplexitätsgrade

5.3.1 Die Demonstrationsexperimente

In den Ausführungen zur Gestaltung von Demonstrationsexperimenten (Kapitel 4.4) wurde bereits auf die Vorteile der homogen eingefärbten Kontrastwand und des Stativmaterials hingewiesen. Derartig gestaltete Experimente erhalten dadurch annähernd Bildcharakter. Da hierbei die Dreidimensionalität des Aufbaues und die Oberflächenbeschaffenheiten der Einzelteile nicht verloren gehen, behält das reale Objekt Demonstrationsexperiment seine eigenständige Ganzqualität.

Unter besonderer Berücksichtigung der im Kapitel 4.3.3 aufgeführten Gruppierungsgesetze und in Anlehnung an die Ausführungen von Berlyne (Kapitel 4.6.2) wurde jedes Demonstrationsexperiment in drei Kom-

plexitätsstufen erstellt.

Komplexitätsstufe A (sehr komplex):
Der Versuchsaufbau steht nicht vor einer Kontrastwand, und das Stativmaterial wurde nicht eingefärbt.
Schlauchverbindungen (rot)
Stopfen (grau)
Schlauch zum Brenner (rot)

Komplexitätsstufe B (komplex),
wie Ausführung A, jedoch mit Kontrastwand und eingefärbtem Stativmaterial.

Komplexitätsstufe C (wenig komplex)
wird wie B ausgeführt, jedoch entfallen die roten Schlauchverbindungen. Sie werden durch farblose Kunststoffschläuche ersetzt. Weiterhin sind der Brenner und der Schlauch zum Brenner eingefärbt.

Welchen Versuchsablauf die einzelnen Experimente darstellen, ist den weiteren Ausführungen zu entnehmen.

Experiment 1:

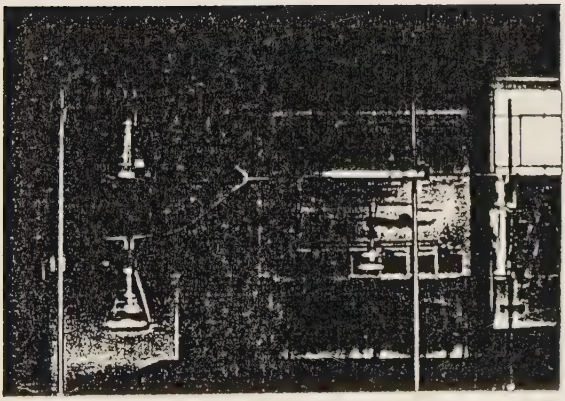
Sauerstoff wird durch eine Lösung von Schwefeldioxid in Wasser geleitet. Die beiden Gase reagieren in der Kälte nicht. In einem weiteren Experiment wird ein Gasgemenge durch ein Verbrennungsrohr geleitet, das mit Platin überzogenes Asbest als Katalysator enthält. Auf etwa 600^{0} C erhitzt, entsteht ein weißer Nebel (SO_3).

$2\ SO_2 + O_2 \longrightarrow 2\ SO_3$ (Schwefeltrioxid)

Das Schwefeltrioxidverbindet sich über Zwischenreaktionen mit Wasser zu Schwefelsäure.

$SO_3 + H_2O \longrightarrow H_2\ SO_4$ (Schwefelsäure)

Experiment 1:



Komplexitätsstufe A

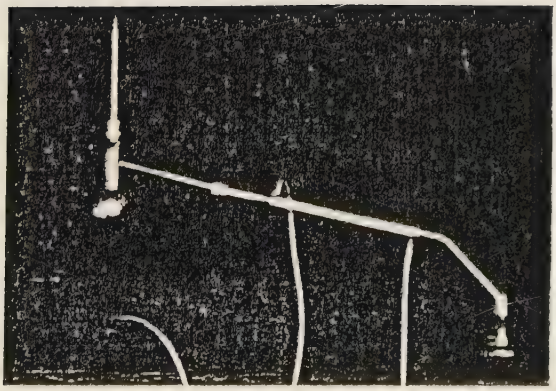
Experiment 2:

Der Versuch zeigt die Arbeitsmethode der Destillation. Dieses Experiment beweist, daß eine Trennung von Lösungsmitteln und gelöstem Stoff möglich ist, wobei der gelöste Stoff bei Zimmertemperatur fest oder flüssig sein kann.

Diese Arbeitsmethode wird z.B. angewendet bei

- der Abtrennung des durch Gärung einer zuckerhaltigen Lösung entstandenen Äthylalkohols,
- der thermischen Trennung von langkettigen und kurzkettigen Alkanen, wie z.B. bei der Gewinnung von Benzin aus Roherdöl,
- der Darstellung von destilliertem Wasser.

Experiment 2:



Komplexitätsstufe 2

Experiment 3:

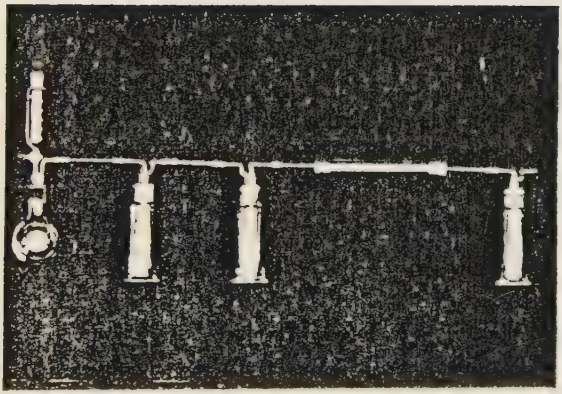
Der Kohlenmonoxidentwickler wird mit Methansäure (Ameisensäure) und konzentrierter Schwefelsäure beschickt. Die neben dem CO-Entwickler stehende Waschflasche enthält Natronlauge. Die zweite enthält eine Calciumhydroxid-Lösung (Kalkwasser). Im Verbrennungsrohr befindet sich Eisen (III)-oxid, an das sich eine mit Kalkwasser gefüllte Waschflasche anschließt.

Das Eisen (III)-oxid wird erhitzt. Das rote unmagnetische Eisen (III)-oxid wird zum magnetischen Eisen reduziert, indem das Kohlenmonoxid zum Kohlendioxid übergeht. Dies ist an der Trübung des in der letzten Waschflasche enthaltenen Kalkwassers zu erkennen.

Die im Versuch ablaufenden Vorgänge entsprechen den Reaktionsabläufen innerhalb der Reduktionszone eines Hochofens. In Kurzform läßt sich das etwa so formulieren:

$$3\ CO + Fe_2O_3 \longrightarrow 2\ Fe + 3\ CO_2$$

Experiment 3:



Komplexitätsstufe C

5.3.2 Die gezeichneten Experimente

Von den unter Kapitel 5.3.1 aufgeführten Demonstrationsexperimenten wurden Zeichnungen angefertigt.

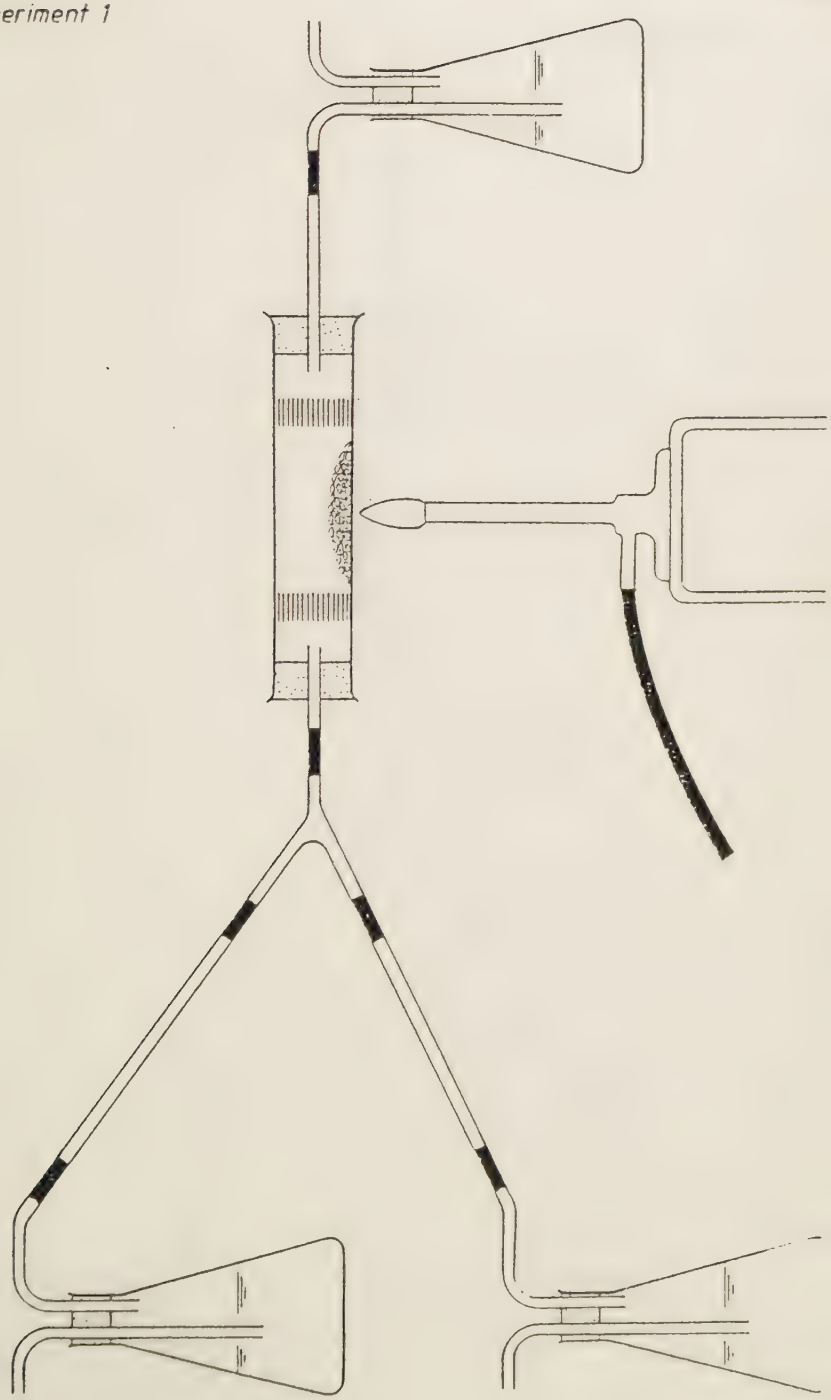
Jedes Experiment wurde auf der Grundlage der in Kapitel 4.5 aufgeführten Besonderheiten, die bei der Anfertigung von Zeichnungen zu berücksichtigen sind, der im Kapitel 4.3.3 dargestellten Gestaltgesetze für Gruppierungen, sowie unter Beachtung der Ausführungen von Berlyne, Kapitel 4.6.2, zur annäherungsweisen Bestimmung der einer Darstellung enthaltenen Komplexität, in drei Komplexitätsstufen dargestellt.

Komplexitätsstufe A (sehr komplex):
In die Zeichnung wurden alle sinnvollen Details aufgenommen und hervorgehoben: Schlauchverbindungen (schwarz eingefärbt),
Stopfen (punktiert),
Schlauch zum Brenner (schwarz eingefärbt).

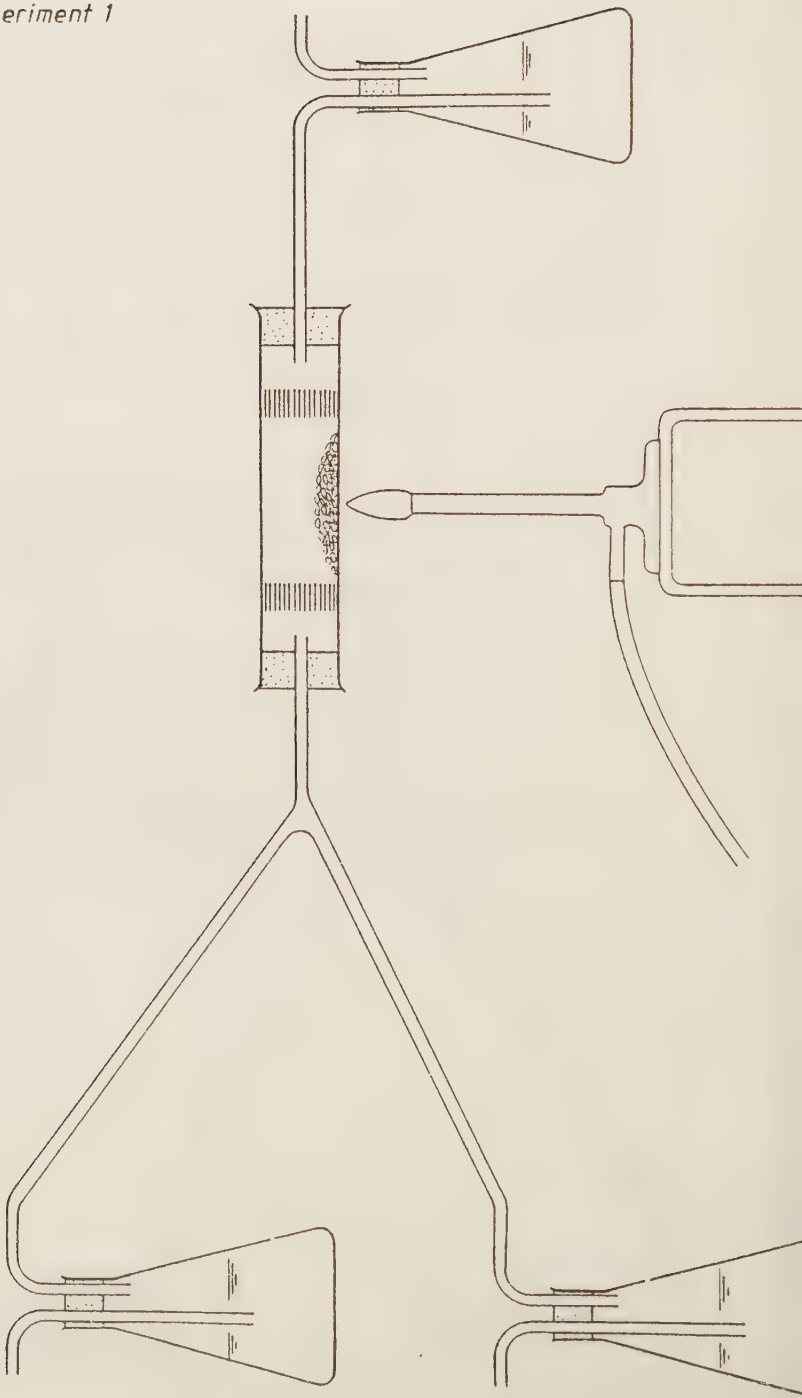
Die Komplexitätsstufe B (komplex)
beruht auf Zeichnung A, doch es entfallen die Schlauchverbindungen, und der Schlauch zum Brenner wird nicht eingefärbt.

Die Komplexitätsstufe C (wenig komplex)
wird wie B ausgeführt, doch es entfällt der Schlauch zum Brenner, und die Stopfen erhalten keine Punktierung.

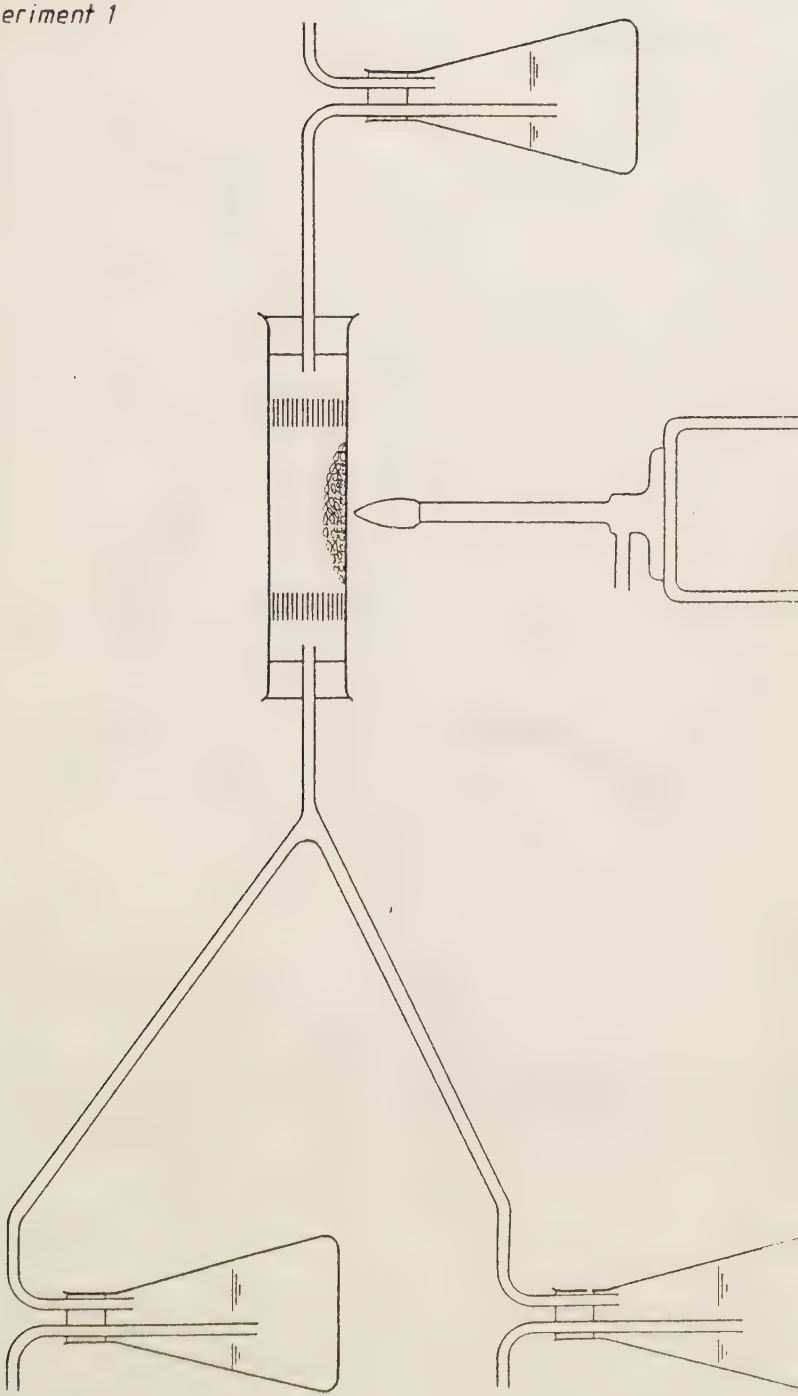
Experiment 1



Experiment 1

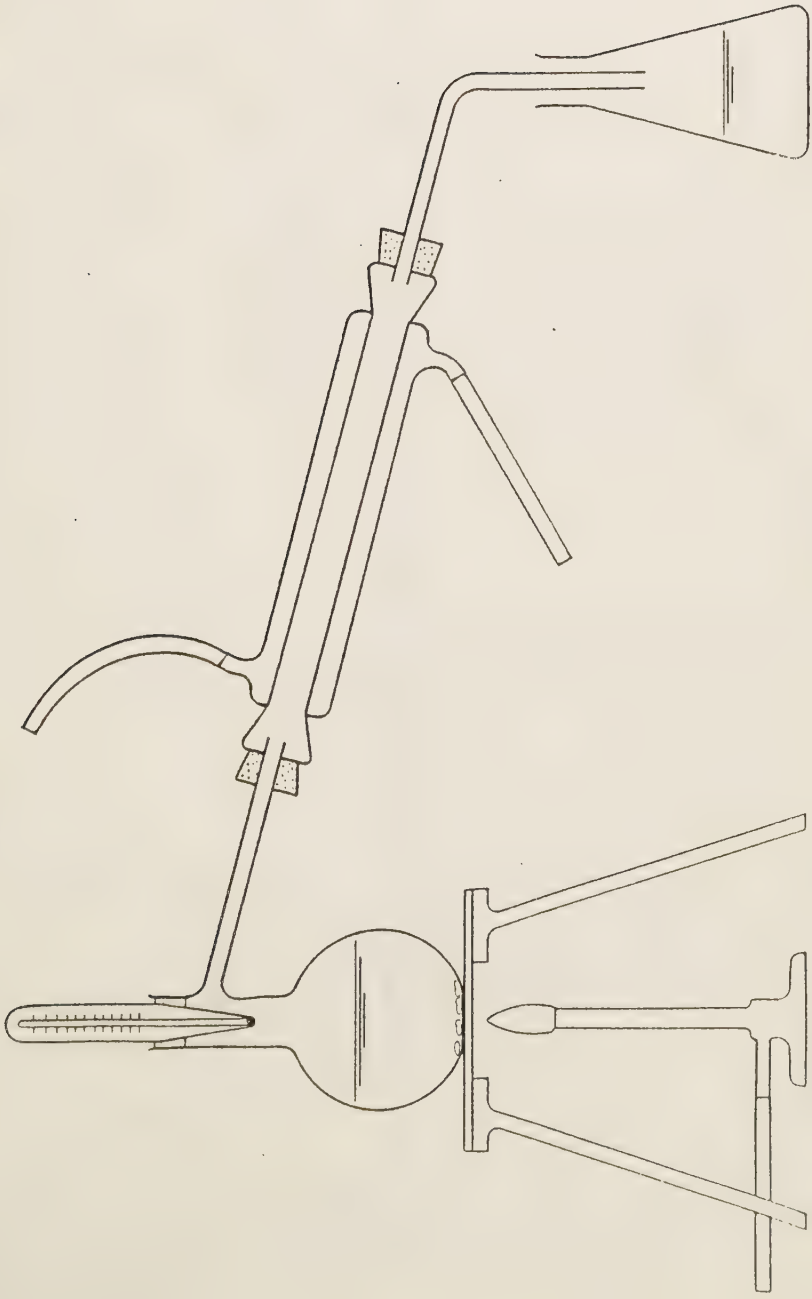


Experiment 1

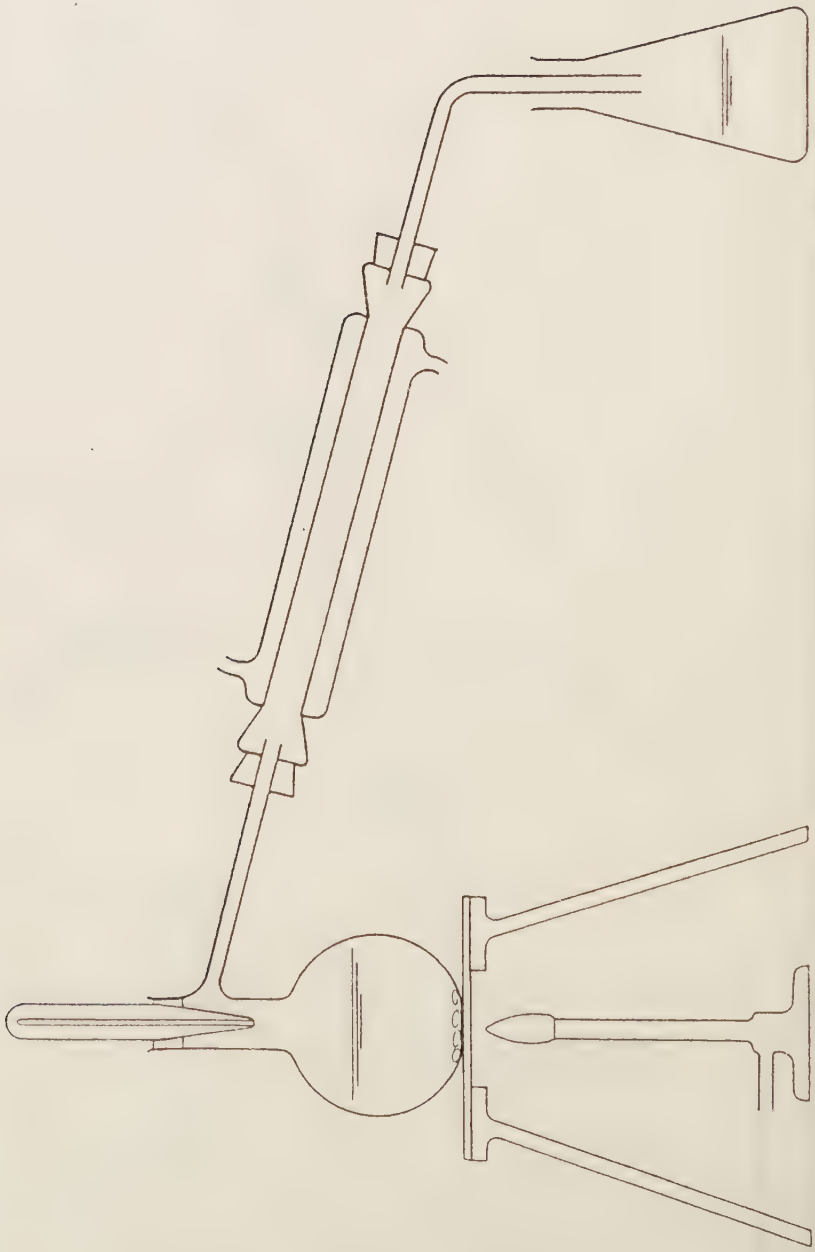


Experiment 2

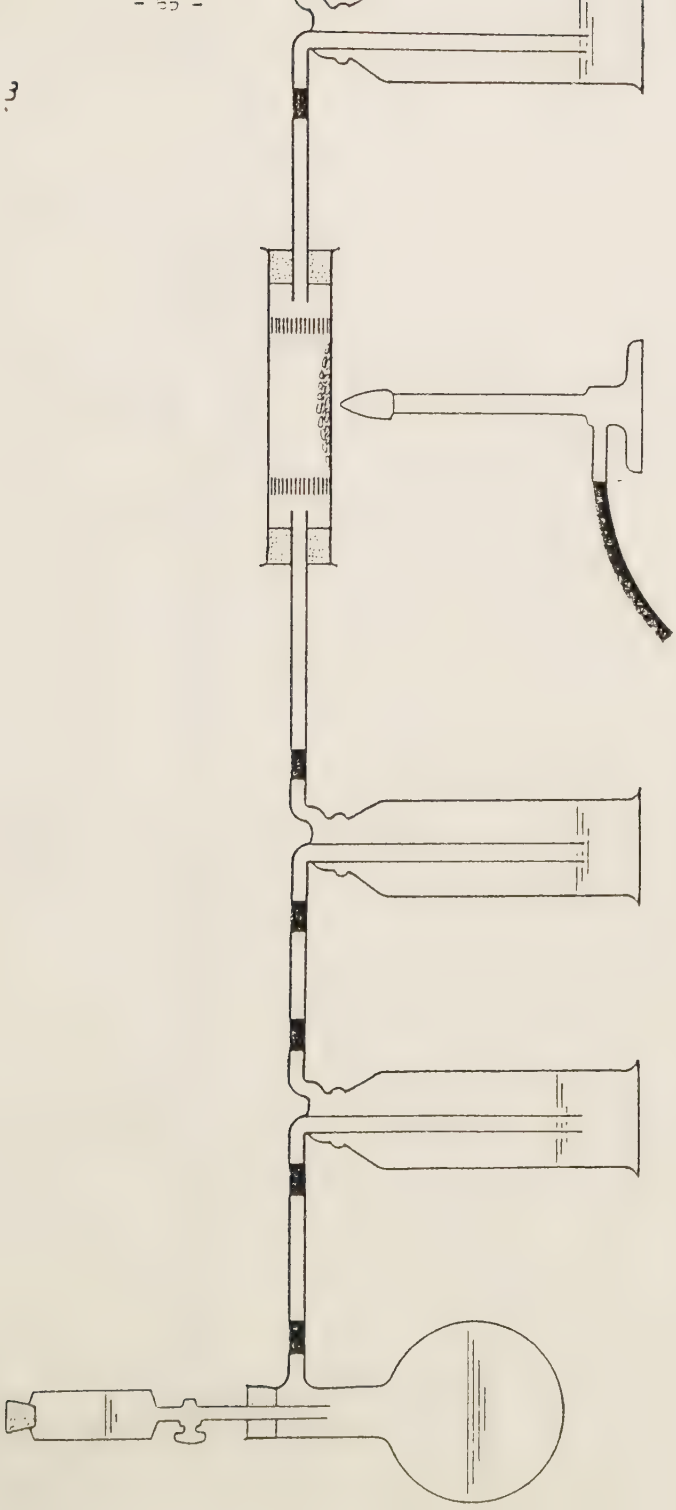
Experiment 2



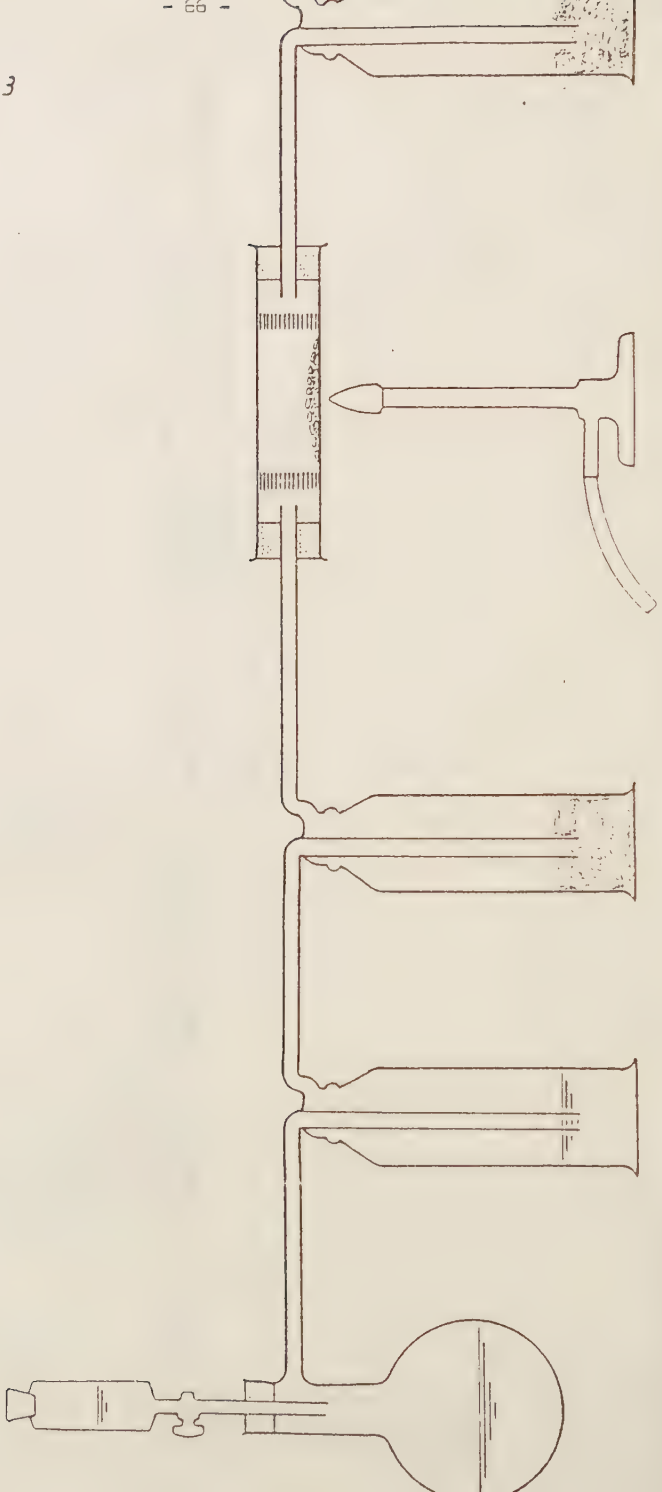
Experiment 2



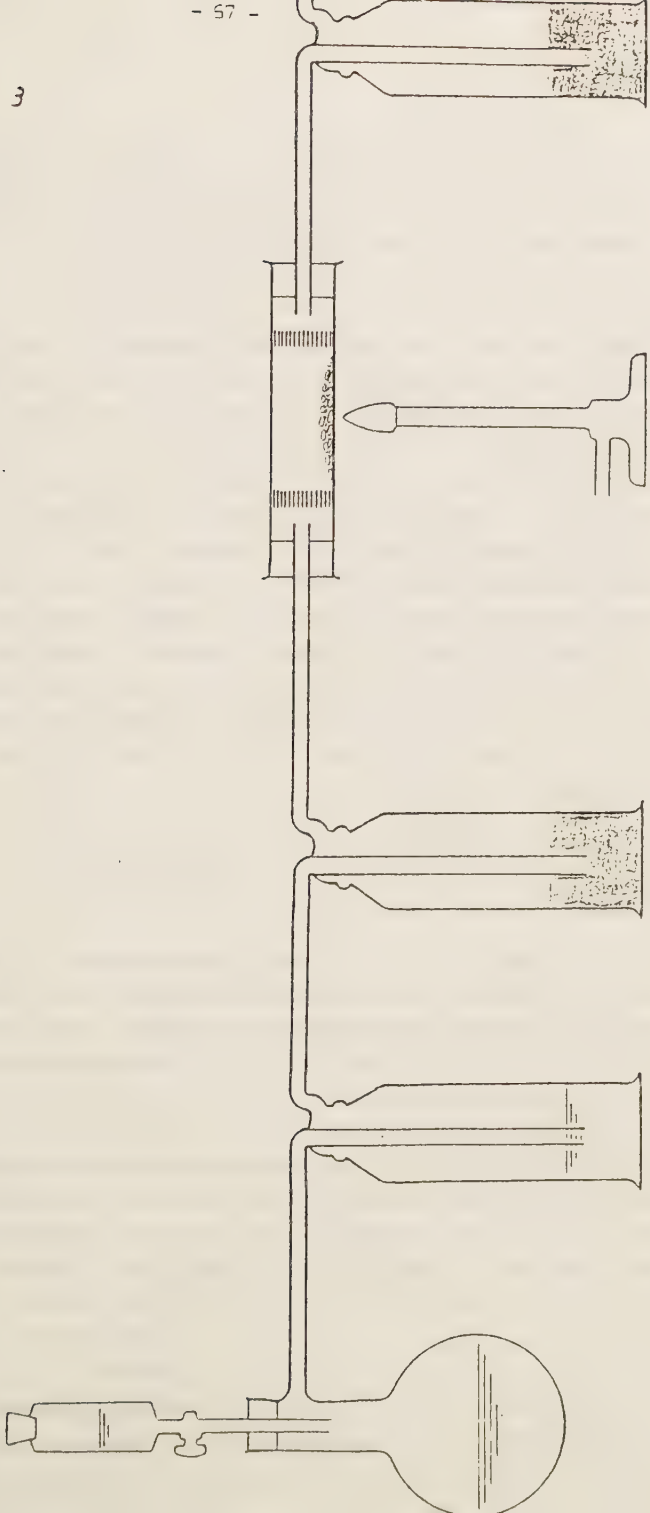
Experiment 3



Experiment 3



Experiment 3



5.4 Entwicklungspsychologische Aspekte der Wahrnehmungsfähigkeit

Die für diese Untersuchung vorgesehenen Schüler sind mindestens 12 Jahre alt. Somit erübrigt sich eine ausführliche Darstellung der Entwicklung der Wahrnehmungsfähigkeit.

Vernon (78) führt Untersuchungen zur Feststellung der Wahrnehmungsfähigkeit an, die zeigen, daß bei Darbietung realer Objekte mehr als die Hälfte der Neunjährigen bereits nach Wahrnehmungsqualitäten gruppierten, wie beispielsweise nach Ähnlichkeit der Struktur. Eine angemessene begriffliche Gruppierung, bei der Objekte klassifiziert werden, gelingt wahrscheinlich erst im elften bis zwölften Lebensjahr, Vernon (78). Genau kann das Alter nicht angegeben werden, da die Entwicklung der Fähigkeit, konkrete Wahrnehmungsgegebenheiten zu modifizieren, nach allgemeiner Ansicht beeinflußt wird durch individuelle Prozesse der Reifung, der Erfahrung und des Lernens. Hierbei muß der Erfahrung ein größerer Stellenwert eingeräumt werden, denn sie vermittelt die Informationen über Wesen und Eigenschaften von Objekten, auf denen die Identifikation beruht.

5.5 Besondere Bedingungen der Versuchsdurchführung

5.5.1 Die Präsentation der Demonstrationsexperimente

Bei der Darbietung von Demonstrationsexperimenten sind Aspekte des Fachraumes zu berücksichtigen. Schmale Fachräume bieten jedem Schüler eine gute Sicht auf das in der Mitte, frontal zu den Schülern ausgerichtet stehende Experiment. Rechts und links sitzende Schüler sehen das Experiment zwar nicht mehr frontal zu sich stehend, ihr Blickwinkel ist aber, da sie sich nicht sehr weit von den in der Mitte sitzenden Schülern befinden, nicht so groß, daß dadurch Teile der Apparatur verdeckt würden. Um auch bei breiteren Fachräumen jedem Schüler eine gute Sicht zu ermöglichen, wurden in solchen Fällen die Schüler aufgefordert, nur die mittleren Plätze zu belegen.

Unter Berücksichtigung der aufgeführten räumlichen Aspekte wurde jedes Experiment (A, B und C) einer Darbietungseinheit, siehe Kapitel 5.3.1, jeweils auf einen fahrbaren Experimentiertisch gestellt.

Zu Beginn jeder Unterrichtsstunde im Fach Chemie wurde den Schülern innerhalb ihres Klassenverbandes und im wöchentlichen Abstand jeweils eine Darbietungseinheit gezeigt. Nach Zufall war jedes Experiment mit A, B oder C gekennzeichnet. Erst als alle Experimente einer Beurteilungseinheit vor den Schülern standen, wobei die Experimentiertische von einem Nebenraum in den eigentlichen Unterrichtsraum hereingefahren wurden, erging die Aufforderung an sie, entsprechend ihrer persönlichen Bevorzugung den zu dem jeweiligen Experiment gehörenden Buchstaben zu notieren.

5.5.2 Die Präsentation der gezeichneten Experimente

Um die Darbietung der im Kapitel 5.3.2 vorliegenden Versuchsaufbauten im Klassenverband vornehmen zu können, wurden von diesen Vorlagen Arbeitstransparente angefertigt. Bei der Projektion derartiger Folien müssen sowohl Aspekte der Hardware als auch der Software berücksichtigt werden, um zu vermeiden, daß, durch die Darbietungsart bedingt, visuelle Störungen auftreten.

Arbeitsprojektor:

Der Lichtabfall der durchleuchteten Arbeitsfläche muß von der Mitte bis zu den Eckpunkten unter 50 % liegen. Das projizierte Bild erhält sonst einen dunklen Rand.

Projektionsfläche:

Um eine gute Qualität des projizierten Bildes zu gewährleisten, sollte ein direkter Einfall des Sonnenlichtes auf die Projektionsfläche vermieden werden.

Bildwand:

Die Beschaffenheit der benutzten Bildwand hat einen großen Einfluß auf die Erkennbarkeit des Projektionsbildes. Die wesentlichsten Anforderungen, die eine Bildwand erfüllen sollte, sind:

1. Ebene Fläche,
2. Einheitliche Oberflächenfarbe,
3. Lichtundurchlässigkeit,
4. Gutes Reflexionsvermögen,
5. Schrägstellvorrichtung zur Vermeidung von Verzerrungen.

Projiziertes Bild:
Auf der Folie muß die Darstellung aus folgendem Grund in positiver Darstellung - dunkel auf durchsichtiger Folie - erstellt werden: Der Kontrastunterschied für das in der Regel bei Tageslicht projizierte Transparent ist bei negativer Darstellung - hell auf undurchsichtiger Folie - zu gering.

Unter Berücksichtigung der aufgeführten Projektionsbedingungen wurden die Bevorzugungen auf folgende Weise gemessen:
Jede Experimentieranordnung lag in drei Komplexitätsstufen als Folie vor. Nach Zufall war jedes dieser Bilder durch einen Buchstaben (A, B, C) gekennzeichnet. Die Reihenfolge der Darbietung einer Beurteilungseinheit erfolgte ebenfalls nach Zufall. Um aus der Darbietung der Beurteilungseinheiten keine außergewöhnliche Unterrichtssituation entstehen zu lassen, wurden die Einheiten den Schülern innerhalb ihres jeweiligen Klassenverbandes, in dem ihnen bekannten Fachraum und zu Beginn ihres Chemieunterrichts gezeigt. Die Bevorzugungseinheiten wurden ihnen im Abstand von jeweils einer Woche vorgelegt.

Vor der eigentlichen Darbietung wurden die Schüler gebeten, sich die Beurteilungseinheit vollständig anzusehen und dann erst den Buchstaben des Bildes entsprechend ihrer persönlichen Bevorzugung auf einem Zettel zu notieren.

6. Darstellung und Auswertung der individuellen Bevorzugungen

6.1 Tabellarische Darstellung der individuellen Bevorzugungen

Die Wahlen zur Feststellung individueller Bevorzugungen unterschiedlicher Komplexitätsgrade - sowohl an Demonstrationsexperimenten als auch an projizierten Experimenten - wurden an Hauptschulen und Gymnasien in Bochum, Gelsenkirchen, Mönchen-Gladbach in den jeweils 7. bis 10.Schuljahren durchgeführt. An der Untersuchung nahmen insgesamt 647 Schüler teil. Davon entfallen auf die Hauptschulen 404 Schüler und auf die Gymnasien 243 Schüler.

Die Ergebnisse der individuellen Bevorzugungen sind den Tabellen 1 - 4 zu entnehmen.

Tabelle 1

Demonstrationsexperimente
Hauptschule
Jungen: 196

Alter	Experiment 1			Experiment 2			Experiment 3		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
13 J.	5	16	20	6	17	18	5	15	21
14 J.	6	25	29	7	22	31	5	26	29
15 J.	5	24	31	5	22	33	4	25	31
16 J.	4	13	18	4	12	19	3	15	17
Σ	20	78	98	22	73	101	17	81	98

Mädchen: 197

Alter	Experiment 1			Experiment 2			Experiment 3		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
13 J.	4	12	18	6	11	17	4	14	16
14 J.	5	26	32	6	24	33	6	27	30
15 J.	3	33	36	4	33	35	5	32	35
16 J.	3	11	14	2	10	16	4	12	12
Σ	15	82	100	18	78	101	19	85	93

Tabelle 2

Demonstrationsexperimente
Gymnasium
Jungen: 124

Alter	Experiment 1			Experiment 2			Experiment 3		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
13 J.	3	9	11	3	8	12	2	9	12
14 J.	2	10	19	1	10	20	3	12	16
15 J.	1	11	20	0	12	20	2	13	17
16 J.	0	13	25	0	12	26	0	15	23
Σ	6	43	75	4	42	78	7	49	68

Mädchen: 111

Alter	Experiment 1			Experiment 2			Experiment 3		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
13 J.	3	7	11	1	6	14	4	5	12
14 J.	1	10	17	2	8	18	2	7	19
15 J.	0	10	20	0	8	22	1	11	18
16 J.	0	12	20	0	9	23	0	12	20
Σ	4	39	68	3	31	77	7	35	69

Tabelle 3

Projizierte Experimente
Hauptschule
Jungen : 203

Alter	Experiment 1			Experiment 2			Experiment 3		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
13 J.	31	1	11	37	3	3	31	7	5
14 J.	34	14	12	46	9	5	42	11	7
15 J.	38	11	13	44	7	11	40	10	12
16 J.	21	7	10	26	5	7	27	5	6
Σ	124	33	46	153	24	26	140	33	30

Mädchen : 201

Alter	Experiment 1			Experiment 2			Experiment 3		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
13 J.	21	4	9	25	4	5	25	4	5
14 J.	50	5	10	49	9	7	50	6	9
15 J.	57	4	11	53	10	9	53	9	10
16 J.	18	7	5	22	5	3	23	3	4
Σ	146	20	35	149	28	24	151	22	28

Tabelle 4

Projizierte Experimente
Gymnasium
Jungen: 129

Alter	Experiment 1			Experiment 2			Experiment 3		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
13 J.	3	5	17	2	4	19	3	4	18
14 J.	2	5	24	1	2	28	4	1	26
15 J.	1	3	29	1	1	31	6	3	24
16 J.	1	7	32	0	2	38	3	0	37
Σ	7	20	102	4	9	116	16	8	105

Mädchen: 114

Alter	Experiment 1			Experiment 2			Experiment 3		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
13 J.	3	2	17	3	5	14	3	2	17
14 J.	2	3	23	0	3	25	1	1	26
15 J.	1	3	26	0	0	30	0	4	26
16 J.	0	2	32	1	0	33	0	2	32
Σ	6	10	98	4	8	102	4	9	101

6.2 Feststellung der Präferenzen

Im folgenden soll untersucht werden, ob sich die unterschiedlichen Bevorzugungen der Ausführungen A, B und C sowohl bei den Demonstrationsexperimenten als auch bei den projizierten Experimenten signifikant absichern lassen.

Dazu wird die Nullhypothese (H_o), 'Wahl der Ausführungen ist gleichwahrscheinlich', geprüft.

$H_o: P_A = P_B = P_C$

wobei: $P_A \triangleq$ Wahrscheinlichkeit, daß Ausführung A bevorzugt wird.

$P_B \triangleq$ Wahrscheinlichkeit, daß Ausführung B bevorzugt wird.

$P_C \triangleq$ Wahrscheinlichkeit, daß Ausführung C bevorzugt wird.

Hierzu kann der einfache χ^2-Test verwandt werden. Wird bei Verwendung dieses Tests die Nullhypothese H_o auf einem bestimmten Signifikanzniveau α verworfen, so folgt daraus lediglich, daß $P_A \neq P_B \neq P_C$ ist.

Für die aussagekräftigeren Nullhypothesen $H_o^1: P_C \leqq P_A$ bzw. $H_o^2: P_A \leqq P_C$ gibt es jedoch einen exakten optimalen bedingten Test, siehe Witting (85 , S.166 - 198). Bei Anwendung dieses Tests auf einem bestimmten Signifikanzniveau α erhält man dann entsprechend der jeweiligen Nullhypothese folgende Aussagen:

$H_o^1: P_C \leqq P_A$

$P_C < P_A$

Präferenz für Ausführung C ist kleiner als die Präferenz für Ausführung A

bzw.

$P_C > P_A$

Präferenz für Ausführung C ist größer als die Präferenz für Ausführung A.

Für $H_o^2: P_A \leqq P_C$ gelten die entsprechenden Aussagen.

Werden H_o^1 oder H_o^2 auf dem Signifikanzniveau α verworfen, so folgt daraus natürlich auch, daß $H_o: P_A = P_B = P_C$ verworfen werden kann.

Testbeschreibung:

$H_o^1: P_C \leqq P_A$

u = Häufigkeit der Bevorzugung von Ausführung C

v = Häufigkeit der Bevorzugung von Ausführung C und A

$c(v) = 1 - \alpha$ Fraktil der Binomialverteilung mit den Parametern n = v und $p = \frac{1}{2}$

n = Anzahl der Wahlen

p = Die Wahrscheinlichkeit, daß A oder C gewählt wird.

Voraussetzungen dieser auf Jakob Bernoulli (1654 - 1705) zurückgehenden Bernoulli- oder Binomialverteilung sind

1. Die Versuche und die Resultate der Versuche sind unabhängig voneinander.
2. Für jeden Versuch bleibt die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses konstant.

Für H_o^2: $P_A \leqq P_C$ gilt derselbe Test, jedoch mit:

u = Häufigkeit der Bevorzugung von Ausführung A.

Aufgrund der vorliegenden relativ eindeutigen Bevorzugungen bestimmter Ausführungen (siehe Tabelle 1 - 4) wurden die Nullhypothesen entsprechend zugeordnet:

$H_o^1 : P_C \leqq P_A$

Hauptschule: Demonstrationsexperimente (Jungen und Mädchen)

Gymnasium: Demonstrationsexperimente (Jungen und Mädchen)

Gymnasium: Projizierte Experimente (Jungen und Mädchen)

$H_o^2 : P_A \leqq P_C$

Hauptschule: Projizierte Experimente (Jungen und Mädchen)

Der Test wurde

a) für jedes Experiment und jede Altersstufe und

b) für jedes Experiment, dabei Zusammenfassung der Altersstufen, durchgeführt.

Bezeichnungen:

$u = y_1$ = Häufigkeit der Bevorzugung von Ausführung A (C)

y_2 = Häufigkeit der Bevorzugung von Ausführung C (A)

$v = y_1 + y_2$

c (o,o5) = Kritischer Wert zum o,o5-Niveau
Dieser Wert wurde tabellarisch ermittelt
siehe (77).

$H_o^{1,2}$ wird abgelehnt, wenn $u > c\ (v)$.

$H_o^{1,2}$ wird nicht abgelehnt, wenn $u < c\ (v)$.

Beispiel:

H_o^1: $P_C \leqq P_A$

$y_1 = 98$ $\qquad$ $y_2 = 2o$

$v = 118$ $\qquad$ $u = 98$

c (o,o5) = 69

$c\ 69 < u = 98$

H_o^1 wird somit abgelehnt.

Interpretation: Unter der Annahme von H_o^1 ist die Wahrscheinlichkeit, daß mehr als 69 Schüler die Ausführung P_A wählen, kleiner als 5 %.

Die Zusammenfassung der Zahlenwerte ist den nachfolgenden Tabellen 5 - 16 zu entnehmen.

Ergebnis:

In allen Fällen konnte auf dem Signifikanzniveau $\alpha = o,o5$ die entsprechende Nullhypothese abgelehnt werden.

Tabelle 5

Demonstrationsexperimente
Hauptschule
Jungen

$H_0^1 : p_C \leqq p_A$

	Alter	y_1	y_2	v	u	$c(0,05)$	$u > c(v)$
Experiment 1	13 J.	20	5	25	20	17	$20 > 17$
	14 J.	29	6	35	29	22	$29 > 22$
	15 J.	31	5	36	31	23	$31 > 23$
	16 J.	18	4	22	18	15	$18 > 15$

	Alter	y_1	y_2	v	u	$c(0,05)$	$u > c(v)$
Experiment 2	13 J.	18	6	24	18	16	$18 > 16$
	14 J.	31	7	38	31	24	$31 > 24$
	15 J.	33	5	38	33	24	$33 > 24$
	16 J.	19	4	23	19	15	$19 > 15$

	Alter	y_1	y_2	v	u	$c(0,05)$	$u > c(v)$
Experiment 3	13 J.	21	5	26	21	17	$21 > 17$
	14 J.	29	5	34	29	22	$29 > 22$
	15 J.	31	4	35	31	22	$31 > 22$
	16 J.	17	3	20	17	14	$17 > 14$

Tabelle 6

Demonstrationsexperimente
Hauptschule
Mädchen

$H_0^1: p_C \leqq p_A$

	Alter	y_1	y_2	v	u	$c(0,05)$	$u > c(v)$
Experiment 1	13 J.	18	4	22	18	15	$18 > 15$
	14 J.	32	5	37	32	23	$32 > 23$
	15 J.	36	3	39	36	25	$36 > 25$
	16 J.	14	3	17	14	12	$14 > 12$

	Alter	y_1	y_2	v	u	$c(0,05)$	$u > c(v)$
Experiment 2	13 J.	17	6	23	17	15	$17 > 15$
	14 J.	33	6	39	33	25	$33 > 25$
	15 J.	35	4	39	35	25	$35 > 25$
	16 J.	16	2	18	16	12	$16 > 12$

	Alter	y_1	y_2	v	u	$c(0,05)$	$u > c(v)$
Experiment 3	13 J.	16	4	20	16	14	$16 > 14$
	14 J.	30	6	36	30	23	$30 > 23$
	15 J.	35	5	40	35	25	$35 > 25$
	16 J.	12	4	16	12	11	$12 > 11$

Tabelle 7

Demonstrationsexperimente
Hauptschule
Jungen : Zusammenfassung der Altersstufen

$H_0^1: P_C \leqq P_A$

		y_1	y_2	v	u	$c(0,05)$	$u > c(v)$
Alle Schüler	Exp. 1	98	20	118	98	69	$98 > 69$
	Exp. 2	101	22	123	101	69	$101 > 69$
	Exp. 3	98	17	115	98	69	$98 > 69$

Mädchen : Zusammenfassung der Altersstufen

$H_0^1: P_C \leqq P_A$

		y_1	y_2	v	u	$c(0,05)$	$u > c(v)$
Alle Schüler	Exp. 1	100	15	115	100	69	$100 > 69$
	Exp. 2	101	18	119	101	69	$101 > 69$
	Exp 3	93	19	112	93	64	$93 > 64$

Tabelle 8

Demonstrationsexperimente
Gymnasium
Jungen

$H_0^1: P_C \leqq P_A$

	Alter	y_1	y_2	v	u	$c(0,05)$	$u > c(v)$
Experiment 1	13 J.	11	3	14	11	10	$11 > 10$
	14 J.	19	2	21	19	14	$19 > 14$
	15 J.	20	1	21	20	14	$20 > 14$
	16 J.	25	0	25	25	17	$25 > 17$

	Alter	y_1	y_2	v	u	$c(0,05)$	$u > c(v)$
Experiment 2	13 J.	12	3	15	12	11	$12 > 11$
	14 J.	20	1	21	20	14	$20 > 14$
	15 J.	20	0	20	20	14	$20 > 14$
	16 J.	26	0	26	26	17	$26 > 17$

	Alter	y_1	y_2	v	u	$c(0,05)$	$u > c(v)$
Experiment 3	13 J.	12	2	14	12	10	$12 > 10$
	14 J.	16	3	19	16	13	$16 > 13$
	15 J.	17	2	19	17	13	$17 > 13$
	16 J.	23	0	23	23	15	$23 > 15$

Tabelle 9

Demonstrationsexperimente
Gymnasium
Mädchen

$H_0^1: P_C \leqq P_A$

	Alter	y_1	y_2	v	u	$c(0,05)$	$u > c(v)$
Experiment 1	13 J.	11	3	14	11	10	$11 > 10$
	14 J.	17	1	18	17	12	$17 > 12$
	15 J.	20	0	20	20	14	$20 > 14$
	16 J.	20	0	20	20	14	$20 > 14$

	Alter	y_1	y_2	v	u	$c(0,05)$	$u > c(v)$
Experiment 2	13 J.	14	1	15	14	11	$14 > 11$
	14 J.	18	2	20	18	14	$18 > 14$
	15 J.	22	0	22	22	15	$22 > 15$
	16 J.	23	0	23	23	15	$23 > 15$

	Alter	y_1	y_2	v	u	$c(0,05)$	$u > c(v)$
Experiment 3	13 J.	12	4	16	12	11	$12 > 11$
	14 J.	19	2	21	19	14	$19 > 14$
	15 J.	18	1	19	18	13	$18 > 13$
	16 J.	20	0	20	20	14	$20 > 14$

Tabelle 10

Demonstrationsexperimente
Gymnasium
Jungen: Zusammenfassung der Altersstufen

$H_0^1: P_C \leqq P_A$

		y_1	y_2	v	u	$c(0,05)$	$u > c(v)$
Alle Schüler	Exp. 1	75	6	81	75	47	$75 > 47$
	Exp. 2	78	4	82	78	48	$78 > 48$
	Exp. 3	68	7	75	68	44	$68 > 44$

Mädchen: Zusammenfassung der Altersstufen

$H_0^1: P_C \leqq P_A$

		y_1	y_2	v	u	$c(0,05)$	$u > c(v)$
Alle Schüler	Exp. 1	68	4	72	68	43	$68 > 43$
	Exp. 2	77	3	80	77	47	$77 > 47$
	Exp. 3	69	7	76	69	45	$69 > 45$

Tabelle 11

Projizierte Experimente
Hauptschule
Jungen

$H_0^2: P_A \leqq P_C$

	Alter	y_1	y_2	v	u	$c(0,05)$	$u > c(v)$
Experiment 1	13 J.	31	11	42	31	26	31 > 26
	14 J.	34	12	46	34	29	34 > 29
	15 J.	38	13	51	38	31	38 > 31
	16 J.	21	10	31	21	20	21 > 20

	Alter	y_1	y_2	v	u	$c(0,05)$	$u > c(v)$
Experiment 2	13 J.	37	3	40	37	25	37 > 25
	14 J.	46	5	51	46	31	46 > 31
	15 J.	44	11	55	44	33	44 > 33
	16 J.	26	7	33	26	21	26 > 21

	Alter	y_1	y_2	v	u	$c(0,05)$	$u > c(v)$
Experiment 3	13 J.	31	5	36	31	23	31 > 23
	14 J.	42	7	49	42	30	42 > 30
	15 J.	40	12	52	40	32	40 > 32
	16 J.	27	6	33	27	21	27 > 21

Tabelle 12

Projizierte Experimente
Hauptschule
Mädchen

$H_0^2 : P_A \leqq P_C$

	Alter	y_1	y_2	v	u	$c(0,05)$	$u > c(v)$
Experiment 1	13 J.	21	9	30	21	19	$21 > 19$
	14 J.	50	10	60	50	36	$50 > 36$
	15 J.	57	11	68	57	41	$57 > 41$
	16 J.	18	5	23	18	15	$18 > 15$

	Alter	y_1	y_2	v	u	$c(0,05)$	$u > c(v)$
Experiment 2	13 J.	25	5	30	25	19	$25 > 19$
	14 J.	49	7	56	49	34	$49 > 34$
	15 J.	53	9	62	53	37	$53 > 37$
	16 J.	22	3	25	22	17	$22 > 17$

	Alter	y_1	y_2	v	u	$c(0,05)$	$u > c(v)$
Experiment 3	13 J.	25	5	30	25	19	$25 > 19$
	14 J.	50	9	59	50	35	$50 > 35$
	15 J.	53	10	63	53	37	$53 > 37$
	16 J.	23	4	27	23	18	$23 > 18$

Tabelle 13

Projizierte Experimente
Hauptschule
Jungen : Zusammenfassung der Altersstufen

$H_0^2: P_A \leqq P_C$

		y_1	y_2	v	u	$c(0,05)$	$u > c(v)$
Alle Schüler	Exp. 1	124	46	170	124	96	$124 > 96$
	Exp 2	153	26	179	153	101	$153 > 101$
	Exp. 3	140	30	170	140	96	$140 > 96$

Mädchen : Zusammenfassung der Altersstufen

$H_0^2: P_A \leqq P_C$

		y_1	y_2	v	u	$c(0,05)$	$u > c(v)$
Alle Schuler	Exp 1	146	35	181	146	101	$146 > 101$
	Exp. 2	149	24	173	149	96	$149 > 96$
	Exp 3	151	28	179	151	101	$151 > 101$

Tabelle 14

Projizierte Experimente
Gymnasium
Jungen

$H_0^1: P_C \leqq P_A$

	Alter	y_1	y_2	v	u	$c(0,05)$	$u > c(v)$
Experiment 1	13 J.	17	3	20	17	14	$17 > 14$
	14 J.	24	2	26	24	17	$24 > 17$
	15 J.	29	1	30	29	19	$29 > 19$
	16 J.	32	1	33	32	21	$32 > 21$

	Alter	y_1	y_2	v	u	$c(0,05)$	$u > c(v)$
Experiment 2	13 J.	19	2	21	19	14	$19 > 14$
	14 J.	28	1	29	28	19	$28 > 19$
	15 J.	31	1	32	31	21	$31 > 21$
	16 J.	38	0	38	38	24	$38 > 24$

	Alter	y_1	y_2	v	u	$c(0,05)$	$u > c(v)$
Experiment 3	13 J.	18	3	21	18	14	$18 > 14$
	14 J.	26	4	30	26	19	$26 > 19$
	15 J.	24	6	30	24	19	$24 > 19$
	16 J.	37	3	40	37	25	$37 > 25$

Tabelle 15

Projizierte Experimente
Gymnasium
Mädchen

$H_0^1: P_C \leqq P_A$

	Alter	y_1	y_2	v	u	$c(0,05)$	$u > c(v)$
Experiment 1	13 J.	17	3	20	17	14	$17 > 14$
	14 J.	23	2	25	23	17	$23 > 17$
	15 J.	26	1	27	26	18	$26 > 18$
	16 J.	32	0	32	32	21	$32 > 21$

	Alter	y_1	y_2	v	u	$c(0,05)$	$u > c(v)$
Experiment 2	13 J.	14	3	17	14	12	$14 > 12$
	14 J.	25	0	25	25	17	$25 > 17$
	15 J.	30	0	30	30	19	$30 > 19$
	16 J.	33	1	34	33	22	$33 > 22$

	Alter	y_1	y_2	v	u	$c(0,05)$	$u > c(v)$
Experiment 3	13 J.	17	3	20	17	14	$17 > 14$
	14 J.	26	1	27	26	18	$26 > 18$
	15 J.	26	0	26	26	17	$26 > 17$
	16 J.	32	0	32	32	21	$32 > 21$

Tabelle 16

Projizierte Experimente
Gymnasium
Jungen : Zusammenfassung der Alterstufen

$H_0^1 : P_C \leqq P_A$

		y_1	y_2	v	u	$c(0,05)$	$u > c(v)$
Alle Schüler	Exp. 1	102	7	109	102	64	$102 > 64$
	Exp. 2	116	4	120	116	69	$116 > 69$
	Exp. 3	105	16	121	105	69	$105 > 69$

Mädchen : Zusammenfassung der Altersstufen

$H_0^1 : P_C \leqq P_A$

		y_1	y_2	v	u	$c(0,05)$	$u > c(v)$
Alle Schüler	Exp. 1	98	6	104	98	58	$98 > 58$
	Exp. 2	102	4	106	102	64	$102 > 64$
	Exp. 3	101	4	105	101	64	$101 > 64$

6.3 Vergleich verschiedener Gruppen

Es soll festgestellt werden, ob in den verschiedenen Gruppen (Altersstufen, Jungen und Mädchen, Hauptschule und Gymnasium) Unterschiede in den Bevorzugungen der Ausführungen A, B oder C sowohl bei den Demonstrationsexperimenten als auch bei den projizierten Experimenten auftreten.

Die Nullhypothese lautet jeweils:

H_0: Kein Unterschied in den Gruppen.

Die Alternativhypothese:

H_1: Es besteht ein Unterschied innerhalb der Gruppen.

Der χ^2-Test für Mehrfeldertafeln ist für diese Probleme der angemessene Test. Mit diesem Test kann bestimmt werden, ob die Unterschiede zwischen k unabhängigen Gruppen signifikant sind oder nicht. Jedoch kann immer nur die Nullhypothese 'Kein Unterschied' getestet werden und entsprechend der vorliegenden Daten entweder verworfen oder zugunsten der Alternativhypothese H_1 'Es besteht ein Unterschied' nicht verworfen werden.

Testbeschreibung:

Auf der folgenden Seite sind das Schema, nach dem die Daten geordnet werden, und die Bezeichnungen aufgeführt; siehe auch Sachs (69, S.359 - 368).

	Gruppe				Zeilensumme
	1	2	j	c	
Ausführung 1	n_{11}	n_{12}	n_{1j}	n_{1c}	$n_{1.}$
2	n_{21}	n_{22}	n_{2j}	n_{2c}	$n_{2.}$
			n_{ij}		
r	n_{r1}	n_{r2}	n_{rj}	n_{rc}	$n_{r.}$
Spaltensumme	$n_{.1}$	$n_{.2}$	$n_{.j}$	$n_{.c}$	$n_{..}=n$

n = Umfang der Stichprobe

$n_{.j}$ = Stichprobenumfang aus Gruppe j

n_{ij} = Anzahl der Bevorzügungen von Ausführung i in Gruppe j

Daraus berechnet man die Teststatistik :

$$\hat{\chi}^2 = n\left[\sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{c}\frac{n_{ij}^2}{n_{i.}\,n_{.j}} - 1\right]$$

H_0 wird abgelehnt, wenn :

$$\hat{\chi}^2 > \chi^2_{(r-1)(c-1);\alpha}$$

H_0 wird nicht abgelehnt, wenn :

$$\hat{\chi}^2 < \chi^2_{(r-1)(c-1);\alpha}$$

$(r-1)(c-1)$ = Anzahl der Freiheitsgrade

$\chi^2_{(r-1)(c-1);\alpha}$: Dieser kritische Wert ist aus den Tabellen (69) der χ^2-Verteilung unter Berücksichtigung der Anzahl an Freiheitsgraden und dem entsprechenden α-Niveau zu entnehmen.

Bemerkungen:

Der χ^2-Test ist gültig für ein hinreichend großes n.

Bei zu schwach besetzten Feldern (n_{ij}) ist die Approximation nicht mehr gut. Man fordert dann:

$$n_{.j} \cdot n_{i.} / n > 1$$

Da drei Ausführungen vorliegen, ist r = 3.

Auf der folgenden Seite wird ein Berechnungsbeispiel ausführlich dargestellt.

Beispiel:

Exp. 1	A	B	C	Σ
13 J.	31	1	11	43
14 J.	34	14	12	60
15 J.	38	11	13	62
16 J.	21	7	10	38
Σ	124	33	46	203

$r = 3 \qquad c = 4$

$\chi^2_{6;0,10} = 10,645$

$\chi^2_{6;0,05} = 12,592$

$$\hat{\chi}^2 = 203 \left[\frac{1}{43} \left(\frac{31^2}{124} + \frac{1^2}{33} + \frac{11^2}{46} \right) + \frac{1}{60} \left(\frac{34^2}{124} + \frac{14^2}{33} + \frac{12^2}{46} \right) \right.$$

$$\left. + \frac{1}{62} \left(\frac{38^2}{124} + \frac{11^2}{33} + \frac{13^2}{46} \right) + \frac{1}{38} \left(\frac{21^2}{124} + \frac{7^2}{33} + \frac{10^2}{46} \right) - 1 \right]$$

$\hat{\chi}^2 = 9,08$

$9,08 < 10,645$
$9,08 < 12,592$ } H_0 wird nicht abgelehnt

6.3.1 Vergleich verschiedener Altersstufen

Die Schüler (13 J., 14 J., 15 J., 16 J.) stammen aus einer homogenen Grundgesamtheit.

H_o: Keine altersspezifischen Präferenzen.

Alle weiteren Größen sind den Tabellen 17 - 2o zu entnehmen.

Ergebnisse:

Bei einem 5 % Signifikanzniveau kann die Nullhypothese nur in einem Fall verworfen werden:

Projizierte Experimente, Gymnasium, Mädchen, Experiment 2.

Selbst bei einer relativ großen Irrtumswahrscheinlichkeit (α = 1o %) kann die Nullhypothese nur in 3 von 24 Fällen verworfen werden. Und zwar:

Projizierte Experimente, Hauptschule, Mädchen, Experiment 1;

Projizierte Experimente, Gymnasium, Mädchen, Experiment 2;

Projizierte Experimente, Gymnasium, Mädchen, Experiment 3.

Die errechneten χ^2-Werte der beiden zuletzt aufgeführten Fälle fallen aus dem Grund sehr hoch aus, da nur in diesen Fällen einige Zellenbesetzungen gleich Null sind ($n_{ij} = o$).

Tabelle 17

Demonstrationsexperimente
Hauptschule
Jungen

$r = 3 \qquad c = 4$

$\chi^2_{6;0,10} = 10,645$

$\chi^2_{6;0,05} = 12,592$

H_0 wird abgelehnt, wenn:

$\hat{\chi}^2 > \chi^2_{(r-1)(c-1);\alpha}$

		A	B	C	Σ	$\hat{\chi}^2$	$\hat{\chi}^2 > \chi^2_{6;0,10} = 10,645$ $\hat{\chi}^2 > \chi^2_{6;0,05} = 12,592$
Alle Schüler	Exp. 1	20	78	98	196	0,6316	0,6316 < 10,645 0,6316 < 12,592
	Exp. 2	22	73	101	196	1,8151	1,8151 < 10,645 1,8151 < 12,592
	Exp. 3	17	81	98	196	1,258	1,2588 < 10,645 1,2588 < 12,592

Mädchen

		A	B	C	Σ	$\hat{\chi}^2$	$\hat{\chi}^2 > \chi^2_{6;0,10} = 10,645$ $\hat{\chi}^2 > \chi^2_{6;0,05} = 12,592$
Alle Schüler	Exp. 1	15	82	100	197	2,972	2,972 < 10,645 2,972 < 12,592
	Exp. 2	18	78	101	197	5,45	5,45 < 10,645 5,45 < 12,592
	Exp. 3	19	85	93	197	1,534	1,534 < 10,645 1,534 < 12,592

Tabelle 18

Demonstrationsexperimente
Gymnasium
Jungen

$r = 3 \qquad c = 4$

$\chi^2_{6;0,10} = 10,645$

$\chi^2_{6;0,05} = 12,592$

H_0 wird abgelehnt, wenn:

$\hat{\chi}^2 > \chi^2_{(r-1)(c-1);\alpha}$

		A	B	C	Σ	$\hat{\chi}^2$	$\hat{\chi}^2 > \chi^2_{6;0,10} = 10,645$ $\hat{\chi}^2 > \chi^2_{6;0,05} = 12,592$
Alle Schüler	Exp. 1	6	43	75	124	6,39	6,39 < 10,645 6,39 < 12,592
	Exp. 2	4	42	78	124	9,96	9,96 < 10,645 9,96 < 12,592
	Exp. 3	7	49	68	124	3,75	3,75 < 10,645 3,75 < 12,592

Mädchen

		A	B	C	Σ	$\hat{\chi}^2$	$\hat{\chi}^2 > \chi^2_{6;0,10} = 10,645$ $\hat{\chi}^2 > \chi^2_{6;0,05} = 12,592$
Alle Schüler	Exp. 1	4	39	68	111	9,41	9,41 < 10,645 9,41 < 12,592
	Exp. 2	3	31	77	111	4,30	4,30 < 10,645 4,30 < 12,592
	Exp. 3	7	35	69	111	9,52	9,52 < 10,645 9,52 < 12,592

Tabelle 19

Projizierte Experimente
Hauptschule
Jungen

$r = 3 \qquad c = 4$

$\chi^2_{6;0,10} = 10,645$

$\chi^2_{6;0,05} = 12,592$

H_0 wird abgelehnt, wenn:

$\hat{\chi}^2 > \chi^2_{(r-1)(c-1);\alpha}$

		A	B	C	Σ	$\hat{\chi}^2$	$\hat{\chi}^2 > \chi^2_{6;0,10} = 10,645$ $\hat{\chi}^2 > \chi^2_{6;0,05} = 12,592$
Alle Schüler	Exp.1	124	33	46	203	9,08	9,08 < 10,645 9,08 < 12,592
	Exp.2	153	24	26	203	6,714	6,714 < 10,645 6,714 < 12,592
	Exp.3	140	33	30	203	2,22	2,22 < 10,645 2,22 < 12,592

Mädchen

		A	B	C	Σ	$\hat{\chi}^2$	$\hat{\chi}^2 > \chi^2_{6;0,10} = 10,645$ $\hat{\chi}^2 > \chi^2_{6;0,05} = 12,592$
Alle Schüler	Exp.1	146	20	35	201	10,98	10,98 > 10,645 10,98 < 12,592
	Exp.2	149	28	24	201	0,6432	0,6432 < 10,645 0,6432 < 12,592
	Exp.3	151	22	28	201	0,474	0,474 < 10,645 0,474 < 12,592

Tabelle 20

Projizierte Experimente
Gymnasium
Jungen

$r = 3 \qquad c = 4$

$\chi^2_{5;0,10} = 10,645$

$\chi^2_{6;0,05} = 12,592$

H_0 wird abgelehnt, wenn:

$\hat{\chi}^2 > \chi^2_{(r-1)(c-1);\alpha}$

		A	B	C	Σ	$\hat{\chi}^2$	$\hat{\chi}^2 > \chi^2_{6;0,10} = 10,645$ $\hat{\chi}^2 > \chi^2_{6;0,05} = 12,592$
Alle Schüler	Exp.1	7	20	102	129	5,07	5,07 < 10,645 5,07 < 12,592
	Exp.2	4	9	116	129	8,76	8,76 < 10,645 8,76 < 12,592
	Exp.3	16	8	105	129	10,12	10,12 < 10,645 10,12 < 12,592

Mädchen

		A	B	C	Σ	$\hat{\chi}^2$	$\hat{\chi}^2 > \chi^2_{6;0,10} = 10,645$ $\hat{\chi}^2 > \chi^2_{6;0,05} = 12,592$
Alle Schüler	Exp.1	6	10	98	114	6,124	6,124 < 10,645 6,124 < 12,592
	Exp.2	4	8	102	114	23,5	23,5 > 10,645 23,5 > 12,592
	Exp 3	4	9	101	114	11,18	11,18 > 10,645 11,18 < 12,592

6.3.2 Vergleich Jungen - Mädchen

Jungen und Mädchen stammen aus einer homogenen Grundgesamtheit.

H_o: Keine geschlechtsspezifischen Präferenzen.

Alle weiteren Größen sind den Tabellen 21 - 22 zu entnehmen.

Ergebnisse:

Die Nullhypothese kann nur in zwei Fällen abgelehnt werden - dies gilt sowohl für $\alpha = 0{,}05$ als auch für $\alpha = 0{,}10$ - und zwar bei:

Projizierte Experimente, Hauptschule, Experiment 1,

Projizierte Experimente, Gymnasium, Experiment 3.

In allen anderen Fällen kann auch bei einer Fehlerwahrscheinlichkeit von 10 % (für die falsche Entscheidung: lehne H_o ab, obwohl H_o richtig) die Nullhypothese nicht abgelehnt werden.

Tabelle 21

Demonstrationsexperimente
Hauptschule

$r = 3 \qquad c = 2$

$\chi^2_{2;0,10} = 4,61$

$\chi^2_{2;0,05} = 5,99$

H_0 *wird abgelehnt, wenn:*

$\hat{\chi}^2 > \chi^2_{(r-1)(c-1);\alpha}$

			A	B	C	Σ	$\hat{\chi}^2$	$\hat{\chi}^2 > \chi^2_{2;0,10} = 4,61$ $\hat{\chi}^2 > \chi^2_{2;0,05} = 5,99$
Alle Schüler	Exp.1	Ju.	20	78	98	393	0,832	$0,832 < 4,61$
		Mä.	15	82	100			$0,832 < 5,99$
	Exp.2	Ju.	22	73	101	393	0,564	$0,564 < 4,61$
		Mä.	18	78	101			$0,564 < 5,99$
	Exp.3	Ju.	17	81	98	393	0,337	$0,337 < 4,61$
		Mä.	19	85	93			$0,337 < 5,99$

Gymnasium

			A	B	C	Σ	$\hat{\chi}^2$	$\hat{\chi}^2 > \chi^2_{2;0,10} = 4,61$ $\hat{\chi}^2 > \chi^2_{2;0,05} = 5,99$
Alle Schüler	Exp.1	Ju.	6	43	75	235	0,219	$0,219 < 4,61$
		Mä.	4	39	68			$0,219 < 5,99$
	Exp.2	Ju.	4	42	78	235	1,090	$1,090 < 4,61$
		Mä.	3	31	77			$1,090 < 5,99$
	Exp.3	Ju.	7	49	68	235	1,626	$1,626 < 4,61$
		Mä.	7	35	69			$1,626 < 5,99$

Tabelle 22

Projizierte Experimente
Hauptschule

$r = 3 \qquad c = 2$

$\chi^2_{2;0,10} = 4,61$

$\chi^2_{2;0,05} = 5,99$

H_0 *wird abgelehnt, wenn:*

$\hat{\chi}^2 > \chi^2_{(r-1)(c-1);\alpha}$

			A	B	C	Σ	$\hat{\chi}^2$	$\hat{\chi}^2 > \chi^2_{2;0,10} = 4,61$ $\hat{\chi}^2 > \chi^2_{2;0,05} = 5,99$
Alle Schüler	Exp. 1	Ju.	124	33	46	404	6,468	6,468 > 4,61
		Mä.	146	20	35			6,468 > 5,99
	Exp. 2	Ju.	153	24	26	404	0,43	0,43 < 4,61
		Mä.	149	52	50			0,43 < 5,99
	Exp. 3	Ju.	140	33	30	404	2,67	2,67 < 4,61
		Mä.	151	22	28			2,67 < 5,99

Gymnasium

			A	B	C	Σ	$\hat{\chi}^2$	$\hat{\chi}^2 > \chi^2_{2;0,10} = 4,61$ $\hat{\chi}^2 > \chi^2_{2;0,05} = 5,99$
Alle Schüler	Exp. 1	Ju.	7	20	102	243	2,573	2,573 < 4,61
		Mä.	6	10	98			2,573 < 5,99
	Exp 2	Ju.	4	9	116	243	0,033	0,033 < 4,61
		Mä.	4	8	102			0,033 < 5,99
	Exp. 3	Ju.	16	8	105	243	6,434	6,434 > 4,61
		Mä.	4	9	101			6,434 > 5,99

6.3.3 Vergleich Hauptschule - Gymnasium

Schüler (Schülerinnen) an Hauptschule und Gymnasium stammen aus einer homogenen Grundgesamtheit.

H_o: Keine schulspezifischen Präferenzen.

Alle weiteren Größen sind den Tabellen 23 - 24 zu entnehmen.

Ergebnisse:

Die Nullhypothese kann nur in folgenden Fällen nicht verworfen werden:

Demonstrationsexperiment 1, Jungen (α= o,o5, α= o,1o)

Demonstrationsexperiment 1, Mädchen (α= o,o5)

Demonstrationsexperiment 3, Jungen (α= o,o5, α= o,1o)

Tabelle 23

Demonstrationsexperimente
Jungen

$r = 3 \qquad c = 2$

$\chi^2_{2;0,10} = 4,61$

$\chi^2_{2;0,05} = 5,99$

H_0 *wird abgelehnt, wenn:*

$\hat{\chi}^2 > \chi^2_{(r-1)(c-1);\alpha}$

		A	B	C	Σ	$\hat{\chi}^2$	$\hat{\chi}^2 > \chi^2_{2;0,10} = 4,61$ $\hat{\chi}^2 > \chi^2_{2;0,05} = 5,99$
Alle Schüler	Exp. 1 HS	20	78	98	320	4,762	4,762 > 4,61
	Exp. 1 Gym	6	43	75			4,762 < 5,99
	Exp. 2 HS	22	73	101	320	7,97	7,97 > 4,61
	Exp. 2 Gym	4	42	78			7,97 > 5,99
	Exp. 3 HS	17	81	98	320	1,33	1,33 < 4,61
	Exp. 3 Gym	7	49	68			1,33 < 5,99

Mädchen

		A	B	C	Σ	$\hat{\chi}^2$	$\hat{\chi}^2 > \chi^2_{2;0,10} = 4,61$ $\hat{\chi}^2 > \chi^2_{2;0,05} = 5,99$
Alle Schüler	Exp 1 HS	15	82	100	308	4,04	4,04 < 4,61
	Exp 1 Gym	4	39	68			4,04 < 5,99
	Exp 2 HS	18	78	101	308	11,07	11,07 > 4,61
	Exp 2 Gym	3	31	77			11,07 > 5,99
	Exp 3 HS	19	85	93	308	6,42	6,42 > 4,61
	Exp 3 Gym	7	35	69			6,42 > 5,99

Tabelle 24

Projizierte Experimente

Jungen

$r = 3 \qquad c = 2$

$\chi^2_{2;0,10} = 4,61$

$\chi^2_{2;0,05} = 5,99$

H_0 *wird abgelehnt, wenn:*

$\hat{\chi}^2 > \chi^2_{(r-1)(c-1);\alpha}$

			A	B	C	Σ	$\hat{\chi}^2$	$\hat{\chi}^2 > \chi^2_{2;0,10} = 4,61$ $\hat{\chi}^2 > \chi^2_{2;0,05} = 5,99$
Alle Schüler	Exp. 1	HS	124	33	46	332	118,25	118,25 > 4,61
		Gym	7	20	102			118,25 > 5,99
	Exp. 2	HS	153	24	26	332	198,64	198,64 > 4,61
		Gym	4	9	116			198,64 > 5,99
	Exp. 3	HS	140	33	30	332	146,2	146,2 > 4,61
		Gym	16	8	105			146,2 > 5,99

Mädchen

			A	B	C	Σ	$\hat{\chi}^2$	$\hat{\chi}^2 > \chi^2_{2;0,10} = 4,61$ $\hat{\chi}^2 > \chi^2_{2;0,05} = 5,99$
Alle Schüler	Exp. 1	HS	146	20	35	315	149,5	149,5 > 4,61
		Gym	6	10	98			149,5 > 5,99
	Exp. 2	HS	149	28	24	315	187,05	187,05 > 4,61
		Gym	4	8	102			187,05 > 5,99
	Exp 3	HS	151	22	28	315	175,05	175,54 > 4,61
		Gym	4	9	101			175,05 > 5,99

6.4 Schätzer und Konfidenzintervalle für die Präferenzen P_A, P_B und P_C

Wo immer man in der Mathematik Näherungswerte benutzt, sollte man festzustellen versuchen, wie weit ein solcher Wert ungünstigstenfalls von dem unbekannten wahren Wert abweichen kann. Das entsprechende Problem bei den hier vorliegenden unterschiedlichen Präferenzen wäre die Bestimmung zweier von den Stichprobenwerten abhängiger Größen, die den unbekannten Mittelwert unter Berücksichtigung einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % mit Sicherheit einschließen. Bei der Gewinnung der Konfidenzintervalle wird stets angenommen, daß die Art der Verteilung bekannt ist und eine Normalverteilung vorliegt.
Quesenberry (62 ,S.191 - 195) und Johnson (43 ,S. 281 - 291) stellen in ihren Ausführungen ein Verfahren vor, das auf die genannten Verteilungsvoraussetzungen verzichtet, wenn ein genügend großes N (Anzahl der Schüler, die am Versuch teilnehmen) vorliegt.

Bezeichnungen:

$P_A = P_1$ Wahrscheinlichkeit, daß Ausführung 1 (A) bevorzugt wird.

$P_B = P_2$ Wahrscheinlichkeit, daß Ausführung 2 (B) bevorzugt wird.

$P_C = P_3$ Wahrscheinlichkeit, daß Ausführung 3 (C) bevorzugt wird.

n_i = Häufigkeit, mit der Ausführung i bevorzugt wird. i = 1, 2, 3.

N = Anzahl der Schüler, die am Versuch teilnehmen.

$N = n_1 + n_2 + n_3$

$\chi^2_{K-1,1-\alpha}$ = $(1 - \alpha)$ - Fraktil (Lokalisationsmaß) der Chi-Quadrat-Verteilung mit K - 1 Freiheitsgraden.

Für großes N lassen sich Konfidenzintervalle für P_1, P_2, P_3 angeben.

Die Formeln und ein Berechnungsbeispiel sind auf den Seiten 1o7 - 1o8 aufgeführt.

Alle weiteren Werte sind den Tabellen 25 - 32 zu entnehmen.

Formeln:

Untere Konfidenzintervallsgrenze

$$P_i : U_i = \frac{\chi^2_{K-1,1-\alpha} + 2n_i - \left[\chi^2_{K-1,1-\alpha}\left[\chi^2_{K-1,1-\alpha} + 4n_i N^{-1}\left(N - n_i\right)\right]\right]^{\frac{1}{2}}}{2\left(N + \chi^2_{K-1,1-\alpha}\right)}$$

Obere Konfidenzintervallsgrenze

$$P_i : O_i = \frac{\chi^2_{K-1,1-\alpha} + 2n_i + \left[\quad \text{siehe oben} \quad\right]^{\frac{1}{2}}}{2\left(N + \chi^2_{K-1,1-\alpha}\right)}$$

Berechnungsbeispiel

Schätzer für $\hat{P}_i = \frac{n_i}{N}$

$$\hat{P}_1 = \frac{7}{129}$$

$$\hat{P}_1 = 0{,}05$$

$K - 1 = 5 \qquad \chi^2_{5;0,05} = 11{,}071$

Obere Grenze

$$P_1 : O_1 = \frac{11{,}071 + 2 \cdot 7 - \left[11{,}071\left[11{,}071 + 4 \cdot 7 \cdot 129^{-1}(129 - 7)\right]\right]^{\frac{1}{2}}}{2(129 + 11{,}071)}$$

$$O_1 = \frac{25{,}071 - 20{,}389}{280{,}142}$$

$$O_1 = 0{,}0167$$

Untere Grenze

$$P_1 : U_1 = \frac{25,071 + 20,389}{280,142}$$

$$U_1 = 0,162$$

$$\hat{P}_1 = 0,05 \qquad K(P_1, 0,05) = [0,016 ; 0,162]$$

Interpretation:
Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,05$ bevorzugen zwischen 1,6 und 16,2 % der 129 Schüler (Gymnasium) die Ausführung A beim projizierten Experiment 1.

Alle weiteren Werte sind den Tabellen 25 - 32 zu entnehmen.

Tabelle 25

Demonstrationsexperimente
Hauptschule
Jungen

Experiment 1

$\hat{p}_1 = 0{,}10$	$K(p_1; 0{,}05)$	$= [0{,}06 ; 0{,}17]$
$\hat{p}_2 = 0{,}40$	$K(p_2; 0{,}05)$	$= [0{,}32; 0{,}49]$
$\hat{p}_3 = 0{,}50$	$K(p_3; 0{,}05)$	$= [0{,}41; 0{,}59]$

Experiment 2

$\hat{p}_1 = 0{,}11$	$= [0{,}07; 0{,}18]$
$\hat{p}_2 = 0{,}37$	$= [0{,}29; 0{,}40]$
$\hat{p}_3 = 0{,}52$	$= [0{,}43; 0{,}60]$

Experiment 3

$\hat{p}_1 = 0{,}09$	$= [0{,}05; 0{,}15]$
$\hat{p}_2 = 0{,}41$	$= [0{,}33; 0{,}50]$
$\hat{p}_3 = 0{,}50$	$= [0{,}41; 0{,}59]$

Tabelle 26

Demonstrationsexperimente
Hauptschule
Mädchen

Experiment 1

$\hat{p}_1$	$=0,08$	$K(p_1;0,05)$	$=[0,04;0,14]$
$\hat{p}_2$	$=0,41$	$K(p_2;0,05)$	$=[0,33;0,50]$
$\hat{p}_3$	$=0,51$	$K(p_3;0,05)$	$=[0,42;0,59]$

Experiment 2

$\hat{p}_1$	$=0,09$	$=[0,05;0,15]$
$\hat{p}_2$	$=0,40$	$=[0,31;0,48]$
$\hat{p}_3$	$=0,51$	$=[0,43;0,60]$

Experiment 3

$\hat{p}_1$	$=0,10$	$=[0,06;0,16]$
$\hat{p}_2$	$=0,43$	$=[0,35;0,52]$
$\hat{p}_3$	$=0,47$	$=[0,39;0,56]$

Tabelle 27

Demonstrationsexperimente
Gymnasium
Jungen

Experiment 1

$\hat{p}_1 = 0,05$	$K(p_1; 0,05)$	$= [0,02 ; 0,12]$
$\hat{p}_2 = 0,35$	$K(p_2; 0,05)$	$= [0,25 ; 0,46]$
$\hat{p}_3 = 0,60$	$K(p_3; 0,05)$	$= [0,49 ; 0,71]$

Experiment 2

$\hat{p}_1 = 0,03$	$= [0,01 ; 0,10]$
$\hat{p}_2 = 0,34$	$= [0,24 ; 0,45]$
$\hat{p}_3 = 0,63$	$= [0,52 ; 0,73]$

Experiment 3

$\hat{p}_1 = 0,06$	$= [0,02 ; 0,13]$
$\hat{p}_2 = 0,40$	$= [0,29 \; 0,51]$
$\hat{p}_3 = 0,54$	$= [0,44 ; 0,65]$

Tabelle 28

Demonstrationsexperimente
Gymnasium
Mädchen

Experiment 1

$\hat{p}_1 = 0{,}04$	$K(p_1; 0{,}05)$	$= [0{,}01 ; 0{,}11]$
$\hat{p}_2 = 0{,}35$	$K(p_2; 0{,}05)$	$= [0{,}25 ; 0{,}47]$
$\hat{p}_3 = 0{,}61$	$K(p_3; 0{,}05)$	$= [0{,}50 ; 0{,}72]$

Experiment 2

$\hat{p}_1 = 0{,}03$	$= [0{,}01 ; 0{,}10]$
$\hat{p}_2 = 0{,}28$	$= [0{,}19 ; 0{,}39]$
$\hat{p}_3 = 0{,}69$	$= [0{,}58 ; 0{,}79]$

Experiment 3

$\hat{p}_1 = 0{,}06$	$= [0{,}03 ; 0{,}14]$
$\hat{p}_2 = 0{,}32$	$= [0{,}22 ; 0{,}43]$
$\hat{p}_3 = 0{,}62$	$= [0{,}51 ; 0{,}73]$

Tabelle 29

Projizierte Experimente
Hauptschule
Jungen .

Experiment 1

$\hat{p}_1 = 0,61$	$K(p_1; 0,05)$	$= [0,53 ; 0,69]$
$\hat{p}_2 = 0,16$	$K(p_2; 0,05)$	$= [0,11 ; 0,24]$
$\hat{p}_3 = 0,23$	$K(p_3; 0,05)$	$= [0,16 ; 031]$

Experiment 2

$\hat{p}_1 = 0,75$	$= [0,67; 0,82]$
$\hat{p}_2 = 0,12$	$= [0,07; 0,18]$
$\hat{p}_3 = 0,13$	$= [0,07 ; 0,20]$

Experiment 3

$\hat{p}_1 = 0,69$	$= [0,61 ; 0,76]$
$\hat{p}_2 = 0,16$	$= [0,11 ; 0,24]$
$\hat{p}_3 = 0,15$	$= [0,10 ; 0,22]$

Tabelle 30

Projizierte Experimente
Hauptschule
Mädchen

Experiment 1

$\hat{p}_1 = 0{,}73$ $\quad K(p_1; 0{,}05) = [0{,}64 ; 0{,}80]$

$\hat{p}_2 = 0{,}10$ $\quad K(p_2; 0{,}05) = [0{,}06 ; 0{,}16]$

$\hat{p}_3 = 0{,}17$ $\quad K(p_3; 0{,}05) = [0{,}12 ; 0{,}25]$

Experiment 2

$\hat{p}_1 = 0{,}74$ $\quad = [0{,}66 ; 0{,}81]$

$\hat{p}_2 = 0{,}14$ $\quad = [0{,}09 ; 0{,}21]$

$\hat{p}_3 = 0{,}12$ $\quad = [0{,}07 ; 0{,}19]$

Experiment 3

$\hat{p}_1 = 0{,}75$ $\quad = [0{,}67 ; 0{,}82]$

$\hat{p}_2 = 0{,}11$ $\quad = [0{,}07 ; 0{,}18]$

$\hat{p}_3 = 0{,}14$ $\quad = [0{,}09 ; 0{,}21]$

Tabelle 31

Projizierte Experimente
Gymnasium
Jungen

Experiment 1

$\hat{p}_1$	$=0,05$	$K(p_1;0,05)$	$=[0,016;\ 0,16]$
$\hat{p}_2$	$=0,16$	$K(p_2;0,05)$	$=[0,09;\ 0,25]$
$\hat{p}_3$	$=0,79$	$K(p_3;0,05)$	$=[0,69;\ 0,86]$

Experiment 2

$\hat{p}_1$	$=0,03$	$=[0,01;\ 0,09]$
$\hat{p}_2$	$=0,07$	$=[0,03;\ 0,15]$
$\hat{p}_3$	$=0,90$	$=[0,82;\ 0,95]$

Experiment 3

$\hat{p}_1$	$=0,12$	$=[0,07;\ 0,21]$
$\hat{p}_2$	$=0,06$	$=[0,03;\ 0,14]$
$\hat{p}_3$	$=0,82$	$=[0,72;\ 0,88]$

Tabelle 32

Projizierte Experimente
Gymnasium
Mädchen

Experiment 1

$\hat{p}_1 = 0{,}05$	$K(p_1; 0{,}05)$	$= [0{,}02 ; 0{,}13]$
$\hat{p}_2 = 0{,}09$	$K(p_2; 0{,}05)$	$= [0{,}04 ; 0{,}17]$
$\hat{p}_3 = 0{,}86$	$K(p_3; 0{,}05)$	$= [0{,}76 ; 0{,}92]$

Experiment 2

$\hat{p}_1 = 0{,}04$	$= [0{,}01 ; 0{,}11]$
$\hat{p}_2 = 0{,}07$	$= [0{,}03 ; 0{,}15]$
$\hat{p}_3 = 0{,}89$	$= [0{,}80 ; 0{,}95]$

Experiment 3

$\hat{p}_1 = 0{,}04$	$= [0{,}01 ; 0{,}11]$
$\hat{p}_2 = 0{,}08$	$= [0{,}04 ; 0{,}16]$
$\hat{p}_3 = 0{,}88$	$= [0{,}79 ; 0{,}94]$

6.5 Zusammenfassung der statistischen Ergebnisse

6.5.1 Hauptschule

Die Analyse der Präferenzen, siehe Kapitel 6.2, zeigt, daß bei allen projizierten Experimenten die Ausführung A (sehr komplex) signifikant bevorzugt wird. Weiterhin weisen die statistischen Ergebnisse eindeutig darauf hin, daß sowohl altersspezifische (siehe Kapitel 6.3.1) als auch geschlechtsspezifische (siehe Kapitel 6.3.2) Einwirkungen bei der Wahl einer bestimmten Ausführung nicht vorliegen. Die Konfidenzanalyse (siehe Kapitel 6.4) bestätigt diese Ergebnisse sehr deutlich, denn sie zeigt, daß zwischen 53 % und 76 % der Jungen und zwischen 64 % und 82 % der Mädchen der Ausführung A den Vorzug geben.

Die festgestellten Präferenzen bei den Demonstrationsexperimenten weisen eindeutig auf die Bevorzugung der Ausführung C (geringe Komplexität) hin. Hierbei konnten, ebenso wie bei den projizierten Experimenten, weder altersspezifische noch geschlechtsspezifische signifikante Häufigkeiten festgestellt werden. Darauf weisen auch die oberen und unteren Grenzen der Konfidenzintervalle hin. Von den Jungen bevorzugen zwischen 41 % und 6o %, von den Mädchen zwischen 39 % und 6o % die Ausführung C.

6.5.2 Gymnasium

Die Schüler des Gymnasiums bevorzugen bei den projizierten Experimenten die Ausführung C (geringe Komplexität). Bei der weiteren Analyse der Präferenzen konnten auch hier weder signifikante altersspezifische noch geschlechtsspezifische Beeinflussungen bei der Wahl einer Ausführung festgestellt werden. Nur in 2 von 6 Fällen wurde H_o: 'Keine altersspezifischen Präferenzen' zurückgewiesen. Das liegt daran, daß nur in diesen Fällen einige Zellenbesetzungen gleich Null ($n_{ij} = o$) sind. Die Konfidenzanalyse zeigt, daß zwischen 69 % und 95 % der Jungen und zwischen 76 % und 95 % der Mädchen die Ausführung C bevorzugen.

Ebenso wird bei den Demonstrationsexperimenten der Ausführung C der Vorzug gegeben. Auch hier konnten keine signifikanten altersspezifischen und geschlechtsspezifischen Einwirkungen bei der Wahl einer Ausführung festgestellt werden. Die Grenzen der Konfidenzinterval-

le liegen hier bei den Jungen zwischen 44 % und 73 % und bei den Mädchen zwischen 5o % und 79 %.

7. Interpretation

In der hier beschriebenen Untersuchung wurde der Frage nachgegangen, welche der unterschiedlichen Formen der Visualisierung sowohl bei gezeichneten Experimenten als auch bei Demonstrationsexperimenten von Schülern der Sekundarstufe I bevorzugt werden. Die hier zur Wahl gestellten Variationen unterschieden sich auf einer Komplexitäts-Skala mit drei Ausprägungsgraden:
Komplexitätsstufe A (sehr komplex),
Komplexitätsstufe B (komplex),
Komplexitätsstufe C (wenig komplex).

Die statistische Auswertung ergab, siehe Kapitel 6.5, daß die Schüler der Hauptschule bei allen gezeichneten Experimenten die Ausführung A (sehr komplex) bevorzugten, wogegen die Gymnasialschüler den Ausführungen C (wenig komplex) den Vorrang gaben. Vergleicht man die Komplexitätsstufen A und C miteinander, so erkennt man sehr deutlich, daß die Darstellungen A wesentlich mehr redundante Informationen enthalten als die von C. Dadurch besitzen die sehr komplexen Zeichnungen A auch einen höheren ästhetischen Anteil als C. Die eindeutigen Präferenzen für die Ausführung A bei allen gezeichneten Experimenten zeigt deutlich, daß Hauptschüler bei derartigen Visualisierungen mehr das Bild in seiner Ganzheit, das heißt mit seinen ästhetischen Anteilen, bevorzugten. Hinzu kommt, daß der ästhetische Anteil dem Wahrnehmenden wesentlich mehr visuelle Fixationspunkte bietet, wodurch ein - mal dem Betrachter das visuelle Suchverhalten (Fixationspunkte) erleichtert wird, ihm aber im affektiven Bereich auch mehr Befriedigung verschafft. In welcher Weise der in einer Darstellung enthaltene ästhetische Anteil, der ja Träger redundanter Informationen ist, mit dazu beiträgt, den didaktischen Informationsanteil in das Gedächtnis einzubringen oder sich störend darauf auswirkt, muß in gesonderten Untersuchungen geklärt werden.

Dadurch, daß die Schüler des Gymnasiums in allen gezeichneten Experimenten die Komplexitätsstufe C (wenig komplex) bevorzugten, wird deutlich, daß ihnen trotz Verwendung sparsamster und ökonomischer zeichnerischer Mittel nicht die Einsicht in den Aufbau, in die Struktur und die Proportionen der dargestellten experimentellen Sachverhalte verlorengeht. Die Bevorzugung der Ausführung C weist in der Art auf eine selektive Betrachtungsweise hin, indem diese Schüler sich in ih-

ren Präferenzen nicht von den ästhetischen Bildanteilen beeinflussen ließen, sondern sich dem 'reinen' visualisierten Sachverhalt zuwendeten.

Bei allen Demonstrationsexperimenten bevorzugten sowohl die Schüler der Hauptschule als auch des Gymnasiums die Ausführung C (wenig komplex). Eine derartige Gestaltung der Demonstrationsexperimente ermöglicht dem Schüler eine sofortige Figur-Grund-Differenzierung der Art, daß die für den Versuchsablauf relevanten Geräte prägnant hervortreten. Da eine derartige experimentelle Gestaltung in den Schulen bisher nicht vorgenommen wird, ist es um so bemerkenswerter, daß die Schüler sich nicht den bekannten und von ihnen gewohnten experimentellen Aufbauten zuwendeten, obwohl diese bereits nach wahrnehmungspsychologischen Gesichtspunkten aufgebaut waren, siehe Ausführung A, Seite 51. Es ist daher anzunehmen, daß die hauptsächlich durch die Kontrastwand und weitere aufgezeigte Maßnahmen (siehe Seite 35 ff) beabsichtigte ungestörte ganzheitliche Wirkung des eigentlichen Versuchsaufbaues entscheidend zu den eindeutigen Bevorzugungen geführt haben.

Die Didaktik der Lehr- und Lernmittel konzentriert und begrenzt sich auf den Bereich der materiellen pädagogischen Hilfsmittel. Für die Verbesserung von Unterricht leistet sie in der Weise einen Beitrag, indem sie über die Voraussetzungen, die Bedingungen und über die Folgen des Medieneinsatzes kritisch reflektiert. Da die Medienverwendung einen Beitrag zur Steigerung der Lernleistungen der Schüler beitragen soll, wird die Mediendidaktik mit dem Problem der pädagogischen Leistung konfrontiert. Durch eine möglichst große Anzahl von systematisch durchgeführten Unterrichtsversuchen wird erreicht, daß der Unterrichtende Medien erhält und einsetzen kann, die es ihm ermöglichen, Unterricht zu objektivieren und die Lernleistungen der Schüler zu erhöhen. Eine durch den Medieneinsatz angestrebte Objektivierung ist allerdings nur dann möglich, wenn Lehr- und Lernmittel identisch oder nahezu identisch reproduzierbar sind. Diese Reproduzierbarkeit stellt nicht nur einen großen bildungsökonomischen, sondern auch einen lernpsychologischen Faktor dar. Mit der gegenstandsgerechten Gestaltung und Darbietung von Medien erhöht sich die Anschaulichkeit und somit auch die auf den Unterrichtsgegenstand be-

zogene Aktivität des Schülers. Damit wird auch die Grundlage einer nachhaltigen Motivationsentwicklung für das Lernen geschaffen.

Der Einsatz in diesem Sinne gestalteter und objektivierter Lehr- und Lernmittel leistet eine nicht unerhebliche Voraussetzung zum Aufbau von Lernverhältnissen der Art, daß die Schüler neben kognitiven auch affektive Beziehungen und Bindungen sowohl zum Lernen als auch zu den Unterrichtsgegenständen selber zu entwickeln in der Lage sind.

8. Literaturverzeichnis

(1) Ahrens, R. (1954)
Beiträge zur Entwicklung des Physiognomie- und Mimikerkennens
In: Z. f. exp. u. angew. Psychol. 2, 599-633

(2) Arnheim, R. (1974)
Anschauliches Denken
Köln

(3) Arnheim, R. (1978)
Kunst und Sehen
Berlin/New York

(4) Attneave, F. (1954)
Some informational aspects of visual perception
In: Psychol. Rev. 61, 183 ff

(5) Battig, W.F. (1966)
Evidence for Coding Processes in "Rote Paired-Associate Learning"
In: J. of Verbal Learning a. Verbal Behavior, 5, 177-181

(6) Becker, H.J. u.a. (1981)
Repetitorium Fachdidaktik Chemie
Bad Heilbrunn

(7) Berlyne, D.E. (1974)
Konflikt, Erregung, Neugier
Stuttgart

(8) Berlyne, D.E. (1972)
Aesthetics and psychobiology
New York

(9) Berlyne, D.E.; S.Peckham (1966)
The Semantic Differential and other measures of reaction to visual complexity
In: Canadian Journal of Psychology, 20, 125-135

(1o) Birkhoff, G.D. (1931)
Einige mathematische Elemente der Kunst
New York

(11) Boring, E.G. (1942)
Sensation and Perception in the History of Experimental Psychologie
New York

(12) Cairns, N.U.; M.S. Steward (197o)
Young children's orientation of letters as a function of axes of symmetry and stimulus alignement
In: Child.Developm. 41, 993-1oo2

(13) Cheatham, P.G. (1952)
Visual perceptual latency as a function of stimulus brightness and contour shape
In: Journ.of Exp.Psychol. 43, 369 ff

(14) Day, H.I. (1967)
Evaluations of subjective complexity, pleasingness and interestingness for a series of random polygons varying in complexity
Perception and Psychophysics, 2, 281-286

(15) Deutscher Bildungsrat (1972)
Strukturplan des Bildungswesens
Stuttgart[4]

(16) Dorfmann, D.D.; H.McKenna (1966)
Pattern preference as a function of pattern uncertainty
In: Canadian Journal of Psychology, 2o, 143-153

(17) Dörner, D.; W.Vehrs (1975)
Ästhetische Befriedigung und Unbestimmtheitsreduktion
In: Psychol.Rev.37, 321-334

(18) Ehrenfels, Ch. v. (1932)
Über Gestaltqualitäten
In: F.Weinhandl (1974)
Gestalthaftes Sehen
Darmstadt

(19) Ehrenstein, W.; Ch. von Ehrenfels (1889)
Kriterium der Gestalthöhe
In: F.Weinhandl (1974)
Gestalthaftes Sehen
Darmstadt

(2o) Eisenmann, R.; H.K. Gellens (1968)
Preference for complexity-simplicity and symmetry-asymmetry
In: Perceptual and Motor Skills, 26, 888-89o

(21) Eysenck, H.J. (1941)
The empirical determination of an aesthetic formula
In: Psychol. Rev. 42, 83-92

(22) Frank, H. (196o)
Über grundlegende Sätze der Informationspsychologie
In: Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft, 1, 25-32

(23) Franke, H.W. (1974)
Phänomen Kunst
Köln

(24) Fries, E.; R.Rosenberger (197o)
Forschender Unterricht
Frankfurt^2

(25) Frith, C.D.; D.K. Nias (1974)
What determines aesthetic preference
In: J. gen. Psychol. 91, 163-173

(26) Gaffron, M. (195o)
Right and left in pictures
In: Art Quarterly, 13

(27) Garner, W.R. (1962)
Uncertainty and structures as psychological concepts
New York

(28) Gibson, E.J. (1968)
Perceptual learning in educational situations
In: Gagné, R.M.; W.J. Gerhart
Learning research and school subjects
Itasca/ Illinois 1968, 61-107

(29) Gibson, J.J. (1973)
Die Wahrnehmung der visuellen Welt
Weinheim und Basel

(30) Gibson, J.J.; O.H. Mowrer (1938)
Determinants of the Perceived Vertical and Horizontal
In: Psychol. Rev. 45, 300-323

(31) Gropper, G.L. (1963)
Why is a picture worth a thousand words ?
In: AVCR, 11, 75-95

(32) Haspas, K. (1976)
Methodik des Chemieunterrichts
Berlin: Volk und Wissen

(33) Häusler, K.; H.Rampf (1976)
270 chemische Schulversuche
München

(34) Heckhausen, H. (1964)
Complexity in perception
In: Canad. J. Psychol. 18, 168-173

(35) Heinrichs, H. (1972)
Audio-visuelle Praxis in Wort und Bild
München

(36) Helmholtz, H.v. (1910)
Handbuch der physiologischen Optik III
Hamburg

(37) Helson, H. (1933)
The fundamental propositions of gestalt psychology
In: Psychol. Rev. 40, 13-32

(38) Heron, W. u.a. (1965)
Visual disturbances after prolonged perceptual isolation
In: Canad. J. Psychol. 10, 13-18

(39) Heron, W. (1957)
Perception as a retinal locus and attention
In: Amer . J. Psychol. 70, 38ff

(40) Hochberg, J.; D.Hardy (1960)
Brightness and proximity factors in grouping
In: Percept. Motor Skills, 10, 22 ff

(41) Huttenlocher, J. (1967)
Children's ability to orient and order objects
In: Child.Developm. 138, 1169-1176

(42) Huttenlocher, J. (1967)
Discrimination of figure orientation: Effects of relative position
In: J. comp. physiol. Psychol. 63, 359-361

(43) Johnson, N.L.; S.C. Katz (1969)
Discrete distributions
Boston,USA

(44) Klein, A. (1969)
Anschaulichkeit - Voraussetzung für die optimale Wirkung von Demonstrationsexperimenten
In: Chemie in der Schule, 1, 26-34

(45) Koffka, K. (1923)
Über die Untersuchungen an den sogenannten optischen Anschauungsbildern
Psychologische Forschung Bd.III

(46) Köhler, W. (1956)
Dynamische Zusammenhänge in der Psychologie
Bern

(47) Köhler, W. (1947)
Gestalt Psychology
Mentor Book, 279

(48) Köhler, W.(1920)
Die physischen Gestalten in Ruhe und im stationären Zustand
Braunschweig

(49) Korb, W.; R.Arnheim (1979)
Visuelle Wahrnehmungsprobleme beim Aufbau chemischer Demonstrationsexperimente
In: Neue Unterrichtspraxis, 2, 117-123

(50) Krech, D.; A.Calvin (1953)
Levels of perceptual organization and cognition
In: J. Ab. Soc. Psychol. 48, 394 ff

(51) Meili, R.; H.J. Steingrüber (1978)
Lehrbuch der psychologischen Diagnostik
Bern

(52) Meili, R.; H.Rohracher (1972)
Lehrbuch der experimentellen Psychologie
Bern

(53) Metzger, W. (1966)
Figurale Wahrnehmung
In: W. Metzger (Hrsg.)
Handbuch der Psychologie Bd.1
Göttingen

(54) Metzger, W. (1953^3)
Gesetze des Sehens
Frankfurt

(55) Metzger, W. (1952)
Das Bild des Menschen in der neueren Psychologie
In: Studium Generale, 5, 521-53o

(56) Miller, G.A. (1956)
The magical number seven, plus or minus two
In: Psych.Rev. 63, 81-97

(57) Musatti, C.L. (1931)
Forma e assimilazione
Archivio italiano di psicologia, 9, 61-156
In: Arnheim, R. (1978)
Kunst und Sehen

(58) Oerter, R. (1974 [4])
Psychologie des Denkens
Donauwörth

(59) Osborne, J.W. (197o)
The relationship between aesthetic preference and visual complexity in abstract art
In: Psychonomic Science, 19, 69-7o

(6o) Piaget, J.; B.Inhelder (1956)
The child's conception of space
London

(61) Postnikow, A.W. (1962)
In welcher Höhe müssen bei der Demonstration die Geräte eingespannt werden ?
In: Chemie in der Schule, 1, 88

(62) Quesenberry, C.P. (1964)
Large sample simultaneous confidence intervals for multinomial proportions
In: Technometrics, 6, 191-195

(63) Raab, E. (1976)
Bildkomplexität, Farbe und ästhetischer Eindruck
Graz

(64) Rausch, E.
Das Eigenschaftsproblem in der Gestalttheorie der Wahrnehmung
In: W. Metzger (1966)
Handbuch der Psychologie Bd.I
Göttingen

(65) Richter, K.P. (1975)
Kriterien zur Optimierung von Demonstrationsexperimenten
In: Chemie in der Schule, 6, 268-274

(66) Rohracher, H. (1965)
Einführung in die Psychologie
Wien

(67) Rubin, E. (1921)
Visuell wahrgenommene Figuren
Kopenhagen

(68) Rump, E.E. (1968)
Relative preference as a function of the number of elements in abstract designs
In: Australian Journal of Psychology, 27, 39-48

(69) Sachs, L. (1978)
Angewandte Statistik
(Statistische Methoden und ihre Anwendungen)
Berlin

(7o) Sander, F. (1939)
Gestaltwerden und Gestaltzerfall
Athen

(71) Sander, R.; H.Schmidkunz (198o)
Haltevorrichtung für eine Experimentiereinrichtung mit standardisierten Stofftransportelementen und einer Kontrastwand
Deutsches Patentamt: Rollennummer G 8o 24 566.5

(72) Schmidkunz, H.; R.Sander (1982)
Die Bedeutung wahrnehmungspsychologischer Forschungsergebnisse für das Zeichnen von Versuchsaufbauten im Chemieunterricht
In: Naturw. im Unterricht Ph/Ch, 4, 134 - 138

(73) Schmidkunz, H.; H.Lindemann (1976)
Das Forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren
München

(74) Schmidt, H.J. (1981)
Fachdidaktische Grundlagen des Chemieunterrichts
Braunschweig/Wiesbaden

(75) Steinbuch, H. (1961)
Automat und Mensch
Berlin-Göttingen-Heidelberg

(76) Terwilliger, R.F. (1963)
Pattern complexity and affective arousal
In: Perceptual and Motor Skills, 17, 387-395

(77) The staff of the computation laboratory (1955)
Tables of the cumulative binomial probability distribution
Cambridge Massachusetts USA

(78) Vernon, M.D. (1974)
Wahrnehmung und Erfahrung
Köln

(79) Vitz, P.C. (1966)
Affect as a function of stimulus variation
Journal of Experimental Psychology, 71, 74-79

(8o) Weltner, K. (197o)
Informationstheorie und Erziehungswissenschaft
Quickborn/Schnelle

(81) Wertheimer, W. (1945)
Produktives Denken
Frankfurt a.M., 2.Aufl. o.J.

(82) Wertheimer, W. (1923)
Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt
In: Psychologische Forschung, 4, 301-350

(83) Mc Winnie, H.J. (1968)
A review of research on aesthetic measure
In: Acta Psychologica, 28, 363-375

(84) Wirsing, Klein, Barthel (1968)
Das Experiment im Chemieunterricht
Berlin: Volk und Wissen

(85) Witting, H. (1978)
Mathematische Statistik
Stuttgart

(86) Wucherpfennig, H.; E.Rüster
Der Einfluß fertiger und im Unterricht entwickelter graphischer Darstellungen auf den Lernerfolg
In: Döring, K.W. (1970)
Lehr und Lernmittelforschung
Weinheim

(87) Wyke, M.; G.Ettlinger (1961)
Efficiency of recognition in left and right visual fields
In: Arch. Neurol. 5, 659 ff